

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: ИШНПТ
 Направление подготовки: 150401/Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование применения многогранных неперетачиваемых режущих пластин при обработке алюминиевых сплавов

УДК 621.914.2-027.45-047.37:669.715.018:621.7-408

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Попов Антон Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Козлов Виктор Николаевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. ОСГН	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов Алексей Юрьевич	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

Результаты освоения ООП «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении» (компетенции выпускников)

Планируемые результаты освоения ООП

«Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении»

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Способность применять гуманитарные, естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий	ОПК-1, ОПК-5, УК-1 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения	ОПК-6, ОПК-8, УК-3 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.	ОПК-3, ОПК-11, ОПК-12, УК-1, УК-2, УК-3 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия.	ОПК-7 ФГОС ВО 3+ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя.	УК-4, УК-5 проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения, проводить обучающие семинары, лабораторные или практические занятия со студентами	ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-6, ОПК-9, ОПК-10 ФГОС ВО 3+ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.
P7	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/ CAM/ CAE продуктов.	ОПК-5, ОПК-6, УК-1 ФГОС ВО 3+ и проект ФГОС ВО 3++, СУОС ТПУ Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.

Р8	<p>Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.</p>	<p>ОПК-11 ФГОС ВО 3+</p> <p>Потребности российских предприятий машиностроительного комплекса.</p> <p>40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам. Зарегистрировано в Минюсте России 21 марта 2014 г. N 31692</p> <p>40.001 Специалист по патентоведению. Зарегистрировано в Минюсте России 21 ноября 2013 г. N 30435</p> <p>28.002 Специалист по контролингу машиностроительных организаций. Зарегистрировано в Минюсте России 23 сентября 2015 г. N 38979</p> <p>28.008 Специалист по инжинирингу машиностроительного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 21 марта 2017 г. N 46069</p> <p>28.001 Специалист по проектированию технологических комплексов механосборочных производств. Зарегистрировано в Минюсте России 10 июля 2015 г. N 37972</p> <p>28.003 Специалист по автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 24 сентября 2015 г. N 38991</p> <p>40.013 Специалист по разработке технологий и программ для станков с числовым программным управлением. Зарегистрировано в Минюсте России 04 мая 2017 г. N 46603</p> <p>40.052 Специалист по проектированию технологической оснастки механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 10 мая 2017 г. N 46667</p> <p>40.083 Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов. Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2015 г. N 35787</p> <p>40.100 Специалист по инструментальному обеспечению механосборочного производства. Зарегистрировано в Минюсте России 13 августа 2015 г. N 38513</p>
----	--	--

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная Школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение материаловедения школы (НОЦ)

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ Арляпов А.Ю.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ **на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Попов Антон Андреевич

Тема работы:

Исследование применения многогранных неперетачиваемых режущих пластин при обработке алюминиевых сплавов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	3658/с 13.05.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2019
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1) Чертежи сменных многогранных пластин ZDCT 150308A1 и SDCT 150308A1 (приложение Б). 2) Паспорт универсального токарного станка 16K20.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Обзор и анализ научно-технической литературы по теме магистерской диссертации. 2) Проведение экспериментов для измерений технологических и физических составляющих силы резания при обработке алюминия и стали для сравнения их величины и особенностей их изменения в зависимости от режимов резания. 3) Анализ влияния режимов резания на стойкость режущих пластин и особенность протекания износа с учётов различных критериев износа.

	4) Анализ работоспособности сменной многогранной пластины при обработке алюминия и его сплавов. 5) Определение напряжённо-деформированного состояния режущих пластин.
Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Раздел ВКР на иностранном языке	Ажель Юлия Петровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Introduction; Literature review	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.09.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения ИШНПТ	Козлов Виктор Николаевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Попов Антон Андреевич		

РЕФЕРАТ

выпускной квалификационной работы

студента гр. 8ЛМ71 Попова Антона Андреевича

Исследование применения многогранных неперетачиваемых режущих пластин при обработке алюминиевых сплавов

Выпускная квалификационная работа выполнена на ____ страниц, содержит: ____ рисунков, ____ таблиц, ____ источников, ____ листов приложений.

Ключевые слова: сменная многогранная пластина, обрабатываемость алюминиевых сплавов, стойкость режущего инструмента, скорость резания, силы резания, износ, напряжённо-деформированное состояние режущего инструмента, наростообразование.

Объектом исследования является сменная многогранная пластина SDCT 090308A1.

Цель работы – подтверждение квалификации «магистр техники и технологии» по направлению 15.04.01 "Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении".

В процессе исследования проводились обзор и анализ научно-технической литературы по теме магистерской работы, формулирование цели и задач исследования. В работе представлены результаты исследования сменной многогранной пластины (СМП) SDCT 090308A1 для обработки алюминия и алюминиевых сплавов, которая непосредственно будет использоваться в торцовой фрезе. Приведены конструкторские чертежи заготовки СМП (с припуском под шлифовку) и чистового варианта СМП. Приведены экспериментальные данные по стойкости и качеству обработанной поверхности, определены оптимальные режимы резания. В работе были определены необходимые экономические параметры, такие как производительность обработки, затраты на обработку, затраты на инструмент. В работе представлены результаты исследования составляющих силы резания, расчётов эпюр контактных

напряжений и напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущих пластин. Было проведено исследование процессов резания в условиях наростообразования (прилипание стружки на главную переднюю поверхность СМП). При проведении экспериментов использовался токарный станок 16K20, трехкомпонентный токарный динамометр Kistler, а также программа «ANSYS 12» для расчета НДС режущей пластины. Результаты работы позволят использовать оптимальные режимы резания для фрезерования алюминиевых сплавов и получать более точные изделия в машиностроении.

Степень внедрения: по результатам защиты работы на государственной аттестационной комиссии будет решено, следует ли рекомендовать разработки к внедрению на производстве.

Область применения: производство машиностроительной продукции.

Экономическая значимость работы достаточно высокая.

В будущем планируется участвовать в организации производства сборных фрез с данными режущими твердосплавными пластинами.

The report
of graduate qualification work
by student of gr. 8LM71 Popov Anton Andreevich
**A study on the implementation of the exchangeable multifaceted cutting
plates when machining aluminum alloys.**

Graduate qualification work consists from ____ p. and contains ____
fig., ____ tab., ____ sources, ____ sheets of supplement.

Key words: replacement multifaceted plate, aluminium alloy, periodic time, cutting speed, cutting forces, build-up forming, runout, stress-strain state of the cutting tool.

The object of research is replacement multifaceted plate SDCT 090308A1.

The purpose of the work is to confirm the qualification of "master of engineering and technology" of major 15.04.01 "Automation of technological processes and production in mechanical engineering".

In the process of the study were carried out: review and analysis of scientific and technical literature on the subject of master's work, the formulation of the goals and objectives of the study. The qualification work presents the study of a replacement multifaceted plate SDCT 090308A1 for processing aluminum and aluminum alloys, which will be directly used in the face cutter. The design drawings of the insert (with allowance for grinding) and the final version of the replaceable multi-faceted plate are given. Experimental data on the resistance properties are given, the optimal cutting conditions are determined. The work identified the necessary economic parameters, such as: processing capacity, processing costs, tool costs. There was also a study on the power cutting processes: the components of the cutting force were fixed: P_x , P_y , P_z . A study of cutting processes under conditions of build-up (chip adhesion to the main front surface of the RMP) was carried out. In the process of the study, a 16K20 lathe was used for experiments, a three-component lathe dynamometer for calculating the components of the cutting forces, as well as a program

"ANSYS 12" for calculating the stress-strain state in the cutting wedge. The data will allow to take into account the optimal cutting conditions for milling of aluminum alloys, thereby obtaining more accurate products in mechanical engineering.

The degree of implementation: the results of the protection of the state certification commission will decide whether to recommend the development for implementation in the workplace.

Field of application: production of engineering products.

The economic importance of the work is quite high.

In the future, it is planned to participate in the organization of the production of prefabricated milling cutter with these carbide inserts.

Содержание

Введение.....	13
Литературный обзор	16
1. Особенности лезвийной обработки алюминия и алюминиевых сплавов	
19	
1.1. Критерии обрабатываемости алюминия и его сплавов.....	20
1.2 Типы алюминиевых сплавов по обрабатываемости режущим инструментом	24
1.3. Сравнение обрабатываемости алюминия и алюминиевых сплавов по отношению к другим конструктивным материалам.....	26
1.4. Получение СМП для обработки алюминия и алюминиевых сплавов..	26
2. Исследование СМП на период стойкости и экономических характеристик в токарной обработке	29
2.1 Износ инструмента.....	29
2.2 Производительность обработки.....	31
2.3 Затраты на инструмент	33
2.4 Затраты на обработку.....	33
2.5. Обработка результатов	35
3. Исследование силовых процессов резания	42
3.1 Влияние режимов обработки	44
3.2. Влияние геометрических параметров инструмента	45
3.3. Воздействие механических свойств материала заготовки.....	46
3.4 Воздействие материалов инструмента и заготовки через теплопроводность.....	47
3.5 Обработка результатов	52

4. Расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущей кромки сменной многогранной пластины SDCT 090308A1.....	55
4.1 Создание 3D-модели сменной многогранной твердосплавной пластины SDCT 090308A1.....	55
4.2 Расчёт НДС режущего клина методом конечных элементов с использованием программы «ANSYS».....	57
Заключение	67
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	70
Введение.....	71
Организация и планирование работ	72
Продолжительность этапов работ	74
Расчет сметы затрат на выполнение проекта	80
Расчет затрат на материалы.....	80
Расчет заработной платы	81
Расчет затрат на социальный налог.....	83
Расчет затрат на электроэнергию	83
Расчет амортизационных расходов	84
Расчет прочих расходов.....	86
Расчет общей себестоимости разработки	86
Расчет прибыли.....	87
Расчет НДС	87
Цена разработки НИР	87
Оценка экономической эффективности проекта	87
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	88
Введение.....	89

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	90
Производственная безопасность.....	91
Анализ опасных и вредных производственных факторов	92
Отклонения показателей микроклимата	92
Превышение уровня шума	93
Электромагнитные поля	95
Недостаточная освещенность рабочей зоны	97
Вредные вещества	97
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	100
Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы	101
Экологическая безопасность.....	102
Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	103
Выводы по разделу.....	104
Приложение А	106
Приложение Б	119
Список используемой литературы	120

Введение

Одними из главных характеристик алюминиевых сплавов являются легкость материала, высокая тепло- и электропроводность, а также коррозионная стойкость, хорошая обрабатываемость резанием, высокая технологическая пластичность и большой диапазон разновидности физических, механических, антифрикционных и других свойств. В связи с этими качествами алюминиевые сплавы широко используют в таких областях промышленности, как авиастроение в качестве конструкционного материала, автомобильной промышленности, в судо- и приборостроении, в строительстве ракетной технике. Такой широкий спектр применимости алюминиевых сплавов в настоящее время позволяет им быть одними из самых распространенных материалов после стали.

Исходя из области применения алюминиевого сплава к нему предъявляются различные требования. Например, для деталей, которые испытывают большие механические нагрузки, используют высокопрочные алюминиевые сплавы, такие, как конструкционные высокопрочные сплавы на основе системы $Al-Zn-Mg-Cu$ (алюминий-цинк-магний-медь), работающие в условиях сжатия, растяжения, кручения и других видов нагрузки. Для деталей, работающих в условиях циклических нагрузок, в качестве основного параметра играет усталостная выносливость алюминиевых сплавов и долговечность (для деталей, испытывающих статические нагрузки), для электротехнической промышленности – электропроводимость, температурный коэффициент электрического сопротивления и коэффициент термического расширения.

На результативность применяемых деталей из алюминия и алюминиевых сплавов влияют не только вышеперечисленные параметры, но и режимы резания, которые позволяют получать требуемое качество поверхностей и необходимую точность изготовления. Также необходимо учитывать различные технологические особенности, позволяющие получать необходимую геометрию изготавливаемой детали из алюминия,

его твердость, которая играет особую роль в применении детали из алюминия.

В данной дипломной работе рассмотрена лезвийная обработка алюминиевых сплавов, испытание сменной многогранной пластины, разработанной в ООО «ПК МИОН» на стойкость, исследования на износ при различных режимах резания, определение оптимальных режимов резания, измерение составляющих сил резания с помощью токарного динамометра.

Это позволит провести достаточно углубленную научно-исследовательскую работу для приобретения нового запатентованного продукта на ООО «ПК МИОН».

Целью данной работы является нахождение оптимальных режимов резания алюминиевого сплава с использованием исследуемой сменной многогранной пластины, определение стойкости и исследование особенности протекания износа в зависимости от скорости резания, определение возникающих сил резания при точении алюминиевой заготовки на токарном станке, а также определение напряженно-деформированного состояния режущего клина.

Для выполнения поставленной цели, необходимо выполнить ряд поставленных **задач**:

1) Проектирование и сборка:

- спроектировать сменные многогранные пластины SDCT 090308A1 для торцовых фрез № 240 с углом в плане 75° ; SDCT 120408A1 для торцовых фрез № 280 с углом в плане 45° ; ZDCT 150308A1 и ZDCT 200408A1 для торцовых фрез №210 с углом в плане 90° для обработки алюминия и алюминиевых сплавов;
- спроектировать заготовки пластин, рассчитать припуски для спекания пресс-формой в «Кировградском заводе твёрдых сплавов»;

- получить пластины в чистовом виде с помощью шлифовальной и полировальной операции;
- спроектировать токарную державку под пластину SDCT 090308A1;
- собрать пластину с токарной державкой для получения экспериментальных данных.

2) Получение экспериментальных данных и испытание СМП:

- определить зависимость стойкости инструмента T от скорости резания V при токарной обработке алюминиевого сплава экспериментальным путем;
- рассчитать производительность обработки Pr , затраты на режущий инструмент C_i и затраты на обработку C при значениях скорости резания и стойкости инструмента, определенных ранее;
- построить график зависимости стойкости инструмента T , производительности обработки Pr , затрат на режущий инструмент C_i и затрат на обработку C от скорости резания V ;
- по построенным графикам определить экстремальные значения производительности обработки Pr_{max} и затрат на обработку C_{min} , соответствующие им величины оптимальных скоростей резания V_n и V_c , а также оптимальной стойкости инструмента по производительности T_n и по себестоимости T_c .

3) Исследование составляющих силы резания:

- получить зависимости технологических составляющих силы резания P_x , P_y , P_z от глубины резания t ;
- получить аналогичные зависимости технологических составляющих силы резания P_x , P_y , P_z от скорости подачи s ;
- получить зависимость удельной мощности резания A_w от глубины резания t ;
- получить зависимость удельной мощности резания A_w от скорости подачи s .

- 4) Исследовать напряженно-деформированное состояние СМП с помощью программного обеспечения «ANSYS» и «КОМПАС 3D».
- 5) Дать заключение и выводы о проделанных работах.

Литературный обзор

На сегодняшний день существуют множество открытий по лезвийной обработке алюминия и алюминиевых сплавов, а также проектирования сменных многогранных пластин с необходимой геометрией, с передними и задними углами для достижения требуемой точности и качества поверхности, как при фрезеровании, так и при токарной обработке. Компания ООО «ПК МИОН» имеет множество



Рисунок 1 - Концевая фреза с цилиндрическим хвостовиком и перекрытым центром для обработки легких сплавов по ГОСТ 16225-81.

инструментов для обработки алюминия и его сплавов, где больший процент инструментов из быстрорежущей стали, например, концевая фреза с цилиндрическим хвостовиком и перекрытым центром для обработки легких сплавов, которая указана на рисунке 1 [1].

Единственным на сегодняшний день специальным сборным инструментом для обработки алюминия, являются 217-ые торцовые насадные фрезы с углом в плане 90° (рисунок 2), в которых используются специальные сменные многогранные пластины AOKX 180604 FR-F [1].

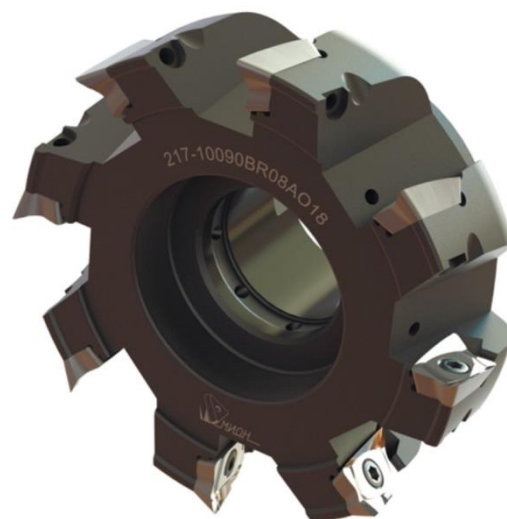


Рисунок 2 - Торцевая насадная фреза №217 с СМП для обработки алюминия и алюминиевых сплавов изготовленной в ООО «ПК МИОН».

В статье [2] рассматривается ряд исследований «поведения» стружки при фрезеровании алюминия торцевой фрезой. Гарантия качества поверхности стала основной задачей для исследователей при анализе надежности обработанных деталей и конструкций из авиационных алюминиевых сплавов при высокоскоростной обработке. В данной работе изучается влияние скорости резания на качество поверхности заготовок из алюминия 7050-T7451 при торцовом фрезеровании.

Алюминиевые заготовки 7050-T7451 подвергались торцевой фрезеровке в сухих условиях с использованием трех скоростей резания (200, 800, 1400 м/мин) при постоянной подаче (0,20 мм/зуб) и глубине резания (1 мм). В испытаниях использовалась насадная торцевая фреза диаметром 50 мм с пятью сменными многогранными пластинами.

В процессе обработки были получены силы резания с использованием динамометра Kistler чтобы понять влияние механической нагрузки на качество поверхности. Шероховатость поверхности, полученная после фрезерования, измерялась с помощью портативного профилометра. Остаточные напряжения, создаваемые в процессе резания, измерялись методом сверления отверстий. Кроме того, из заготовок были вырезаны небольшие образцы и с помощью методов оптической микроскопии проанализированы микроструктурные изменения поверхностного слоя заготовки. Исследования показали, что величина остаточных напряжений и толщина деформированного слоя чувствительны к скорости резания, в то время как шероховатость поверхности и микроструктурные дефекты не показывают существенных различий в экспериментальных условиях.

В источнике [3] приведена методика проектирования сборной фрезы со сменными многогранными пластинами и этапы проектирования сменных многогранных пластин. Приведены общие методические указания для расчета геометрических параметров сборных инструментов с механическим креплением твердосплавных пластин в зависимости от

способа крепления режущих твердосплавных пластин и углов ориентации режущей пластины в корпусе, таких как радиальные и осевые углы. Приведен подробный геометрический анализ существующих и проектируемых новых конструкций сборных инструментов. Даны расчетные формулы.

Авторы из статьи [4] выполнили подробное и качественное исследование фрезерования корпусных деталей из алюминия. Приведены требования, предъявляемые к корпусным деталям летательных аппаратов. Рассмотрен вопрос встречного и попутного торцевого фрезерования при высокоскоростной обработке корпусных деталей из алюминиевого сплава 6082 Т6. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных с целью определения, при каких значениях основных параметров режимов резания (скорости, подачи на зуб, ширины и глубины резания) получают наиболее рациональные значения крутящего момента. Разработана математическая модель, позволяющая заранее определить величину крутящего момента. Проанализированы требования, предъявляемые к корпусным деталям летательных аппаратов. Рассмотрены вопросы торцевого фрезерования при высокоскоростной механической обработке корпусных деталей из алюминиевого сплава 6082 Т6. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных с целью определить, при каких значениях основных параметров режимов резания (скорости, подачи на зуб, ширины и глубины резания) получают наиболее рациональные значения шероховатости поверхности. Разработана математическая модель, позволяющая заранее определить величину шероховатости поверхности R_a при торцевом фрезеровании (рисунок 3).

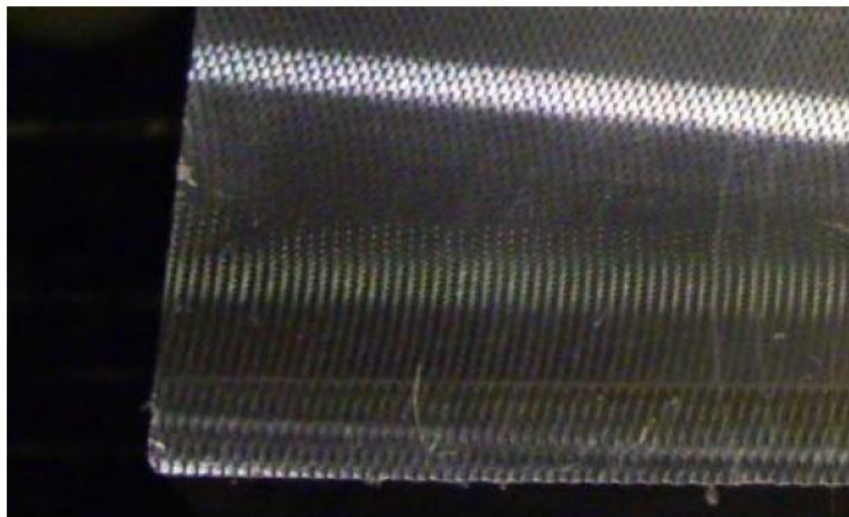


Рисунок 3 - Шероховатость поверхности алюминия после фрезерования торцевой фрезой со сменными многогранными пластинами

Износ режущего инструмента в процессе резания оказывает колоссальное влияние на качество обработанной поверхности, стойкость и другие характеристики. Существует технология для повышения стойкости сменных твердосплавных пластин, применяемых в режущем инструменте, одной из которых является операция «покрытие». В одной из таких работ [5] авторы исследовали влияние структурных изменений на свойства твердого сплава T5K10 при термической обработке. Установлена возможность изменения интенсивности износа твердого сплава путем варьирования режимов термической обработки.

1. Особенности лезвийной обработки алюминия и алюминиевых сплавов

Алюминий и алюминиевые сплавы сравнительно легко поддаются лезвийной обработке. Но зачастую химический состав, а точнее вид алюминиевого сплава, существенно влияет на характеристику обрабатываемости материала.

Обрабатываемость оценивается обычно несколькими составляющими: формой стружки, возникающими силами резания, скоростью износа режущего инструмента, качеством обработанной

поверхности [6].

Но обрабатываемость будет меняться в зависимости от вида обработки и применяемого оборудования (будь то это сверление, токарная или фрезерная обработка, или обработка абразивным инструментом), режимов резания, геометрии и материала режущего инструмента.

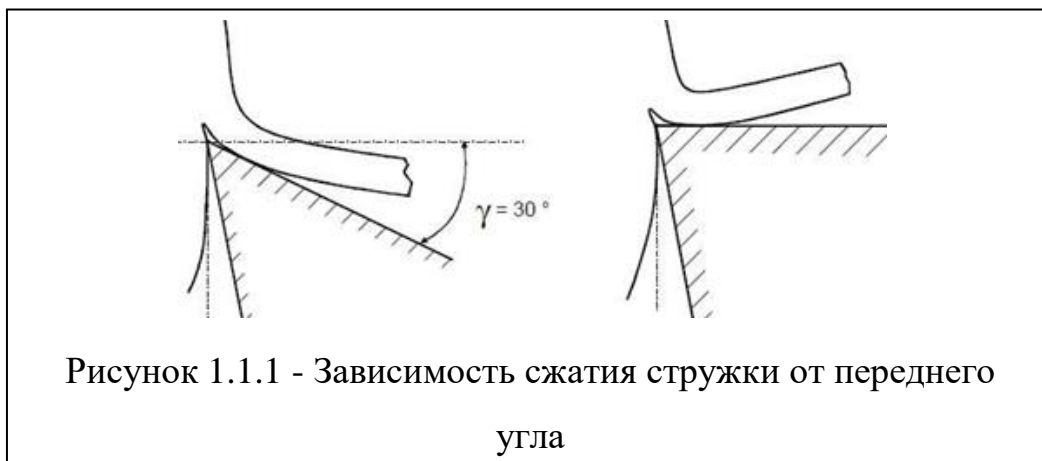
1.1. Критерии обрабатываемости алюминия и его сплавов

Разумеется форма стружки является основным критерием обрабатываемости при механической обработки алюминия. В основном это сливная стружка, которая отличается своими размерами и формой. Например, некоторые мягкие сплавы алюминия дают сравнительно длинную сливную стружку при токарной обработке и необходимо принимать специальные меры, например, стружколомающие канавки на режущем инструменте.

Соответственно, конструкционные высокопрочные алюминиевые сплавы на основе Al—Zn—Mg—Cu (B93, B96ц, B95A и др.) не вызывают таких проблем со сливной стружкой. А вот литейные алюминиевые сплавы Al—Si (AK12, AK9 AK7 и др), Al—Si—Mg (AMг10, AMг10ч и др.) дают короткую кольцевую стружку, а иногда спиральную стружку при механической обработке [7].

Также для улучшения обрабатываемости в алюминиевые сплавы добавляют мягкие металлы, такие как висмут или свинец, которые способствуют образованию короткой стружки.

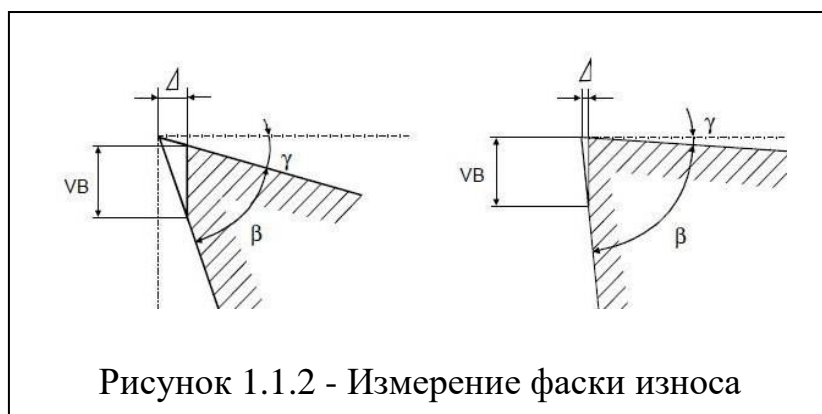
На форму и тип стружки также влияет и геометрия режущего клина инструмента: при уменьшении главного переднего угла стружка образуется более короткой за счет возникающих сжимающих напряжений (Рисунок 1.1.1)



Износ режущего клина инструмента при лезвийной обработке алюминия и его сплавов происходит путем постепенного образования фаски износа (величина VB), расположенной на главной задней поверхности (Рисунок 1.1.2). [6]

Износ по задней поверхности инструмента зависит в первую очередь от марки обрабатываемого материала заготовки, от его микроструктуры и температуры, возникающей в зоне резания. Для режущего инструмента, оснащенного сменными многогранными пластинами, обычно фаска износа не должна превышать величину более 0,4 мм, но в частных случаях величина износа по задней поверхности указывается в технических условиях на инструмент [6]. Наличие смазочно-охлаждающей

жидкости (СОЖ), скорость подачи и глубина резания — все это существенно влияет на износ инструмента, а именно: чем меньше указанные параметры резания, тем медленнее образуется фаска износа на инструменте.



Одним из важных критериев обрабатываемости является возможность получения высокого качества обработанной поверхности

детали. Качество поверхности зависит от нескольких приведенных ниже параметров:

1) Шероховатость поверхности. Шероховатость обработанной поверхности является ключевым параметром после обработки. Характеризуется неровностью с относительно малыми шагами при определенной базовой длине.

2) Поведение обрабатываемого материала при его разделении режущим инструментом.

3) Внешние факторы, от которых зависит качество обработки: острота режущих кромок, виброустойчивость системы и другое [7].

По возможности получить высокое качество обработанной поверхности у детали из алюминия и алюминиевых сплавов можно сделать следующий вывод: чем выше твердость и прочность сплава алюминия, тем более высокое качество поверхности мы можем получить [8].

Исключения составляют литейные алюминиевые сплавы, чья шероховатость зависит от микроструктуры сплава. В этом случае при лезвийной обработке алюминиевого литейного сплава его твердые частицы, внедренные в пластичную микроструктуру, могут вырываться из состава и при этом портить качество обработанной поверхности [9].

Скорость резания, как последний критерий обработки алюминия. По обрабатываемости алюминия принято считать, что шероховатость является обратно пропорциональной скорости резания. Уменьшая число оборотов шпинделя, и тем самым понижая скорость резания, шероховатость обработанной поверхности возрастает.

Это происходит из-за приваривания алюминиевой стружки к передней поверхности режущего инструмента, т.е. стружка налипает на режущую кромку инструмента – данный процесс называется «наростообразованием».

Для полного пояснения на графике (Рисунок 1.1.3) приведена

зависимость скорости резания от шероховатости при обработке чистого алюминия, где графики разделены на 4 секции.

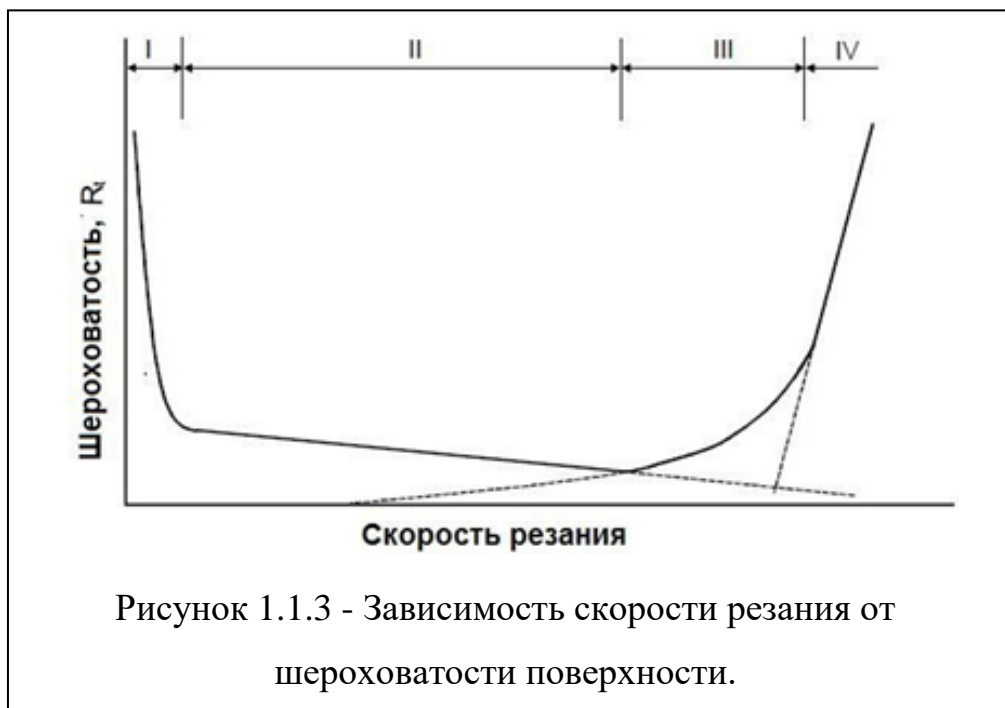


Рисунок 1.1.3 - Зависимость скорости резания от шероховатости поверхности.

Из данного графика, приведенного на рисунке 1.1.3 видно:

Первая зона: качество поверхности неудовлетворительное из-за наростообразования на режущей кромке инструмента, из-за увеличения схватывания (приваривания) прирезцовой поверхности стружки с наростом материал плохо подвергается лезвийной обработке. Нарост периодически разрушается, после чего его части вдавливаются в обработанную поверхность, следовательно, шероховатость при малой скорости резания сильно увеличивается.

Вторая зона: шероховатость обработанной поверхности линейно снижается при увеличении скорости резания.

Третья зона: увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности из-за влияния внешних факторов, например, вибрации.

Четвертая зона: из-за увеличения температуры резания снимаемая стружка при лезвийной обработке алюминия моментально приваривается к режущей кромке и передней поверхности инструмента [10].

1.2 Типы алюминиевых сплавов по обрабатываемости режущим инструментом

Учитывая вышеперечисленные критерии обрабатываемости, разделяют группы алюминиевых сплавов при лезвийной обработке.

1) Деформируемые алюминиевые сплавы со сравнительно низкой прочностью.

В данную группу входят термически неупрочняемые алюминиевые сплавы, легированные марганцем и магнием (AlMgMn, AlMn) и термически упрочняемые сплавы в несостаренном состоянии (AlMgSi). Деформируемые алюминиевые сплавы с низкой прочностью характеризуются своей мягкостью и пластичностью, отсутствием твердых частиц, что дает им низкую прочность и большой процент вероятности появления наростообразования. Такие сплавы необходимо обрабатывать с высокой скоростью резания.

2) Алюминиевые сплавы с высокой прочностью.

2.1) Деформируемые алюминиевые сплавы повышенной прочности.

К этой группе относятся практически все стандартные алюминиевые сплавы. Для достижения относительно высокой прочности такие сплавы подвергают нагартовке, т.е. пластической деформации, в результате чего твердость и прочность материала увеличивается. Такую операцию проводят после закалки перед старением заготовки либо наоборот после старения заготовки, где прочностные свойства повышаются сильнее.

Из-за снижения содержания железа в алюминиевом деформируемом сплаве до 0,12-0,15% и кремния до 0,1% (такие сплавы считаются повышенной чистоты) и до сотых долей процента (еще более чистые) происходит существенное повышение пластичности материала и ее вязкости разрушения. Деформируемые алюминиевые сплавы характеризуются отсутствием твердых включений, что благоприятно

влияет на период стойкости режущего инструмента. Прочность этих сплавов составляет всего 300-600 МПа, из-за чего налипания стружки не происходит.

2.2) Алюминиевые сплавы, предназначенные для лезвийной и абразивной обработки.

Сплавы на основе алюминия легированные Pb и Bi предназначены для увеличения хрупкости отделяемой стружки и достижения высокого качества обработанной поверхности.

3) Литейные сплавы из алюминия.

3.1) Литейные алюминиевые сплавы с содержанием кремния менее 10%.

К этим сплавам относятся такие, как АК4 АЛ9, АЛ9В и другие. Прочность таких сплавов достигается от 250 - 350 МПа, а твердые включения в микроструктуре сплавов способствуют быстрому износу режущего инструмента. Также они склонны к налипанию стружки, если в них содержится более 5% легированного кремния. После механической обработки таких сплавов чаще всего получается гладкая поверхность и, соответственно, хорошая ломкость стружки.

3.2) Литейные алюминиевые сплавы с содержанием кремния около 12%.

Сплавы, такие как АЛ2, АЛ4В и другие, относятся к этой группе. Данные сплавы сравнительно с низкой твердостью, с наличием твердых вкраплений, где процент вероятности проявления наростообразования при механической обработке увеличивается.

3.3) Литейные алюминиевые сплавы с содержанием кремния более 12%.

Такие алюминиевые сплавы отличаются высокой твердостью, сравнительно средней прочностью и имеют твердые вкрапления в своей мягкой матрице микроструктуры. Из-за большого содержания кремния в своей микроструктуре у таких сплавов при механической обработке резко

повышается износ инструмента, а также большой процент вероятности проявления наростообразования при механической обработке.

1.3. Сравнение обрабатываемости алюминия и алюминиевых сплавов по отношению к другим конструктивным материалам

Алюминий и его сплавы сравнительно легче поддаются лезвийной обработке, чем стали, чугуны и другие материалы, так как при механической обработке резанием возникают сравнительно малые силы резания (принято считать на 30% меньше по сравнению с усилиями, возникающими при обработке стали).

При одинаковых режимах резания скорость резания алюминия превышает почти в 3 раза скорость резания бронз и почти в 5 раз скорость резания сталей. Это означает, что алюминий и алюминиевые сплавы можно механически обрабатывать быстрее, чем другие материалы.

1.4. Получение СМП для обработки алюминия и алюминиевых сплавов

Так как в промышленной компании ООО «ПК МИОН» в основном используются сменные многогранные пластины ZDCW и SDCW, под габаритные размеры которых спроектированы корпуса инструментов, было решено изменить некоторые геометрические параметры данных пластин, не меняя при этом конструкцию корпусов инструментов, и тем самым получить новый инструмент для нового предназначения. Сменные многогранные пластины получили новую форму (Приложение Б): пластины будут заточены наостро, иметь передний угол $\gamma = 15^\circ$, главный задний угол $\alpha = 8^\circ$. Вспомогательный задний угол $\alpha_1 = 16^\circ$ остается неизменным после спекания.

Диаметр вписанной окружности сменной многогранной пластины 9,525 мм и радиус при вершине $r = 0,8$ мм остаются неизменными, а толщина пластины и отверстие для крепления винтом остается таким же, как и у пластин из каталога [11].

После получения заготовки сменных многогранных пластин необходимо переднюю поверхность шлифовать, а затем полировать до «зеркальной» чистоты $Ra=0,05-0,1$ мкм для уменьшения налипания стружки при обработке алюминия. Полировка пластин осуществлялась в полировальной установке в смеси карбида кремния со скорлупой грецкого ореха, что показано на рисунке 1.4.1. После полирования (рисунок 1.4.2) заготовок пластин необходимо далее шлифовать опорную поверхность, а также шлифовать по периметру для получения острой режущей кромки.

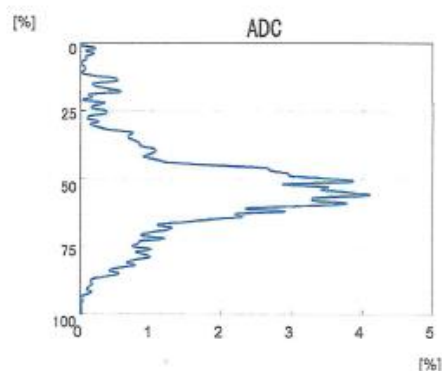
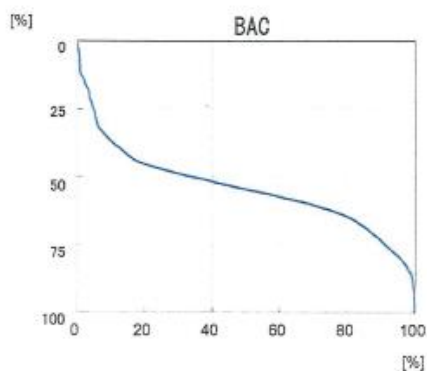
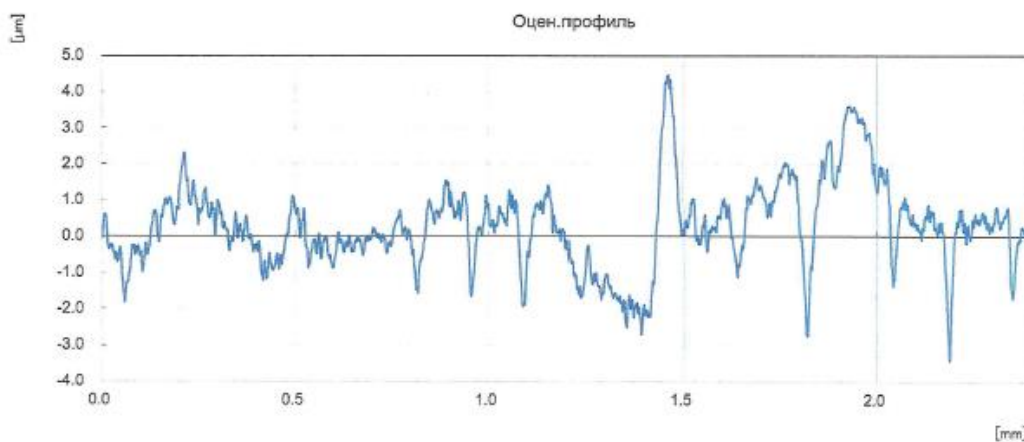
На указанном рисунке 1.4.3 указана шероховатость на передней поверхности пластины. Данный параметр необходимо снизить, чтобы в процессе резания сменной многогранной пластины алюминиевая стружка не налипала на переднюю поверхность, тем самым снизить вероятность появления наростообразования. Также, высокая шероховатость играет роль концентратора напряжений. При возникающих нагрузках в резании может возникнуть трещина.



Рисунок 1.4.1 – Процесс полирования передней поверхности заготовок сменных многогранных пластин в смеси карбида кремния со скорлупой грецкого ореха



Рисунок 1.4.2 – Сменная многогранная пластина ZDCT 150308A1 после полировки



Название продукт	Образец	Оператор	Mitutoyo
Инструменты изм.	SurfTest	Комментарий	Ver2.00
Стандарт	ISO 1997	N	3
Профиль	R	Отсечка шага	0.8mm
λ_s	2.5µm	Фильтр	GAUSS
Ra	0.890 µm		
Rq	1.157 µm		
Rz	6.103 µm		
Rp	3.462 µm		
Rv	2.641 µm		
Rt	7.871 µm		
Rk	2.299 µm		
Rpk	2.026 µm		
Rvk	1.439 µm		

Рисунок 1.4.3 шероховатость передней поверхности сменной многогранной пластины SDCT 090308A1 перед шлифованием и полированием

2. Исследование СМП на период стойкости и экономических характеристик в токарной обработке

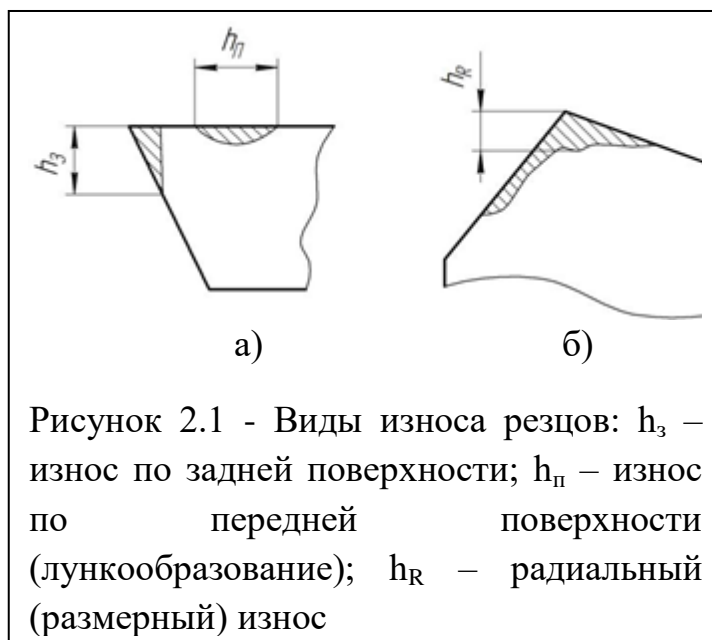
Стойкость инструмента играет очень большую роль при обработке резанием. Необходимо, чтобы стойкость инструмента имела экономически обоснованную величину и соответствовала требуемому качеству обработки и производительности. Из-за сравнительно малой стойкости инструмента происходит простой станка по причине частой замены инструмента; увеличиваются затраты на инструмент, увеличивается простой оборудования. Из-за большой стоимости современных станков снижает рентабельность производства. Стойкость инструмента напрямую зависит от скорости протекания износа.

2.1 Износ инструмента

Износ инструмента

(рисунок 2.1) – это прежде всего изменение формы инструмента в процессе его работы резанием [13]. Износ инструмента может проявляться в виде фаски износа по главной задней поверхности h_z (износ по задней поверхности), лунки передней поверхности h_{Π} (износ по передней поверхности), износа вершины резца h_R ,

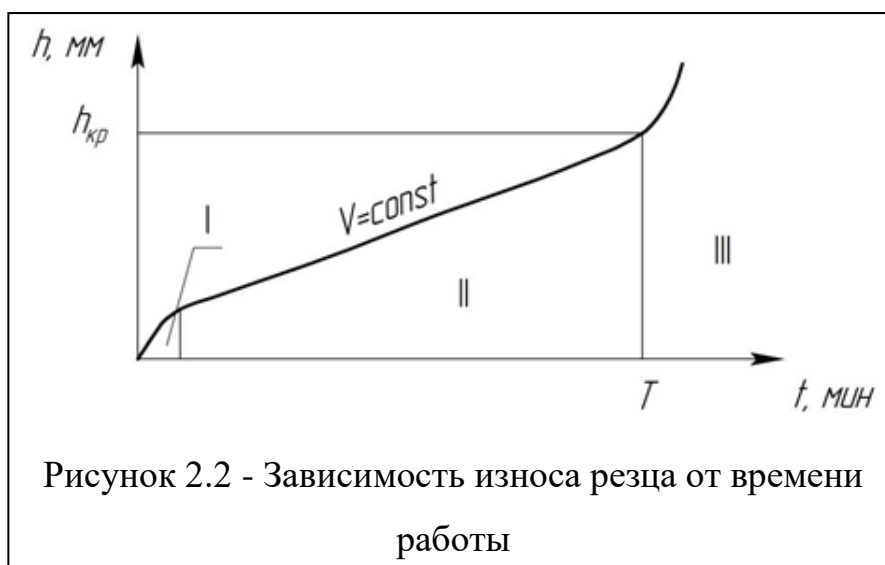
(радиальный износ) либо в виде произвольной комбинации всех трех видов износа.



Зачастую в инструментальных каталогах указывают износ в виде выкрашивания из-за низкой скорости резания и обработки деталей с высокой прочностью; скалывание из-за повышенной подачи и прерывистом резании; деформации из-за повышенной скорости резания и

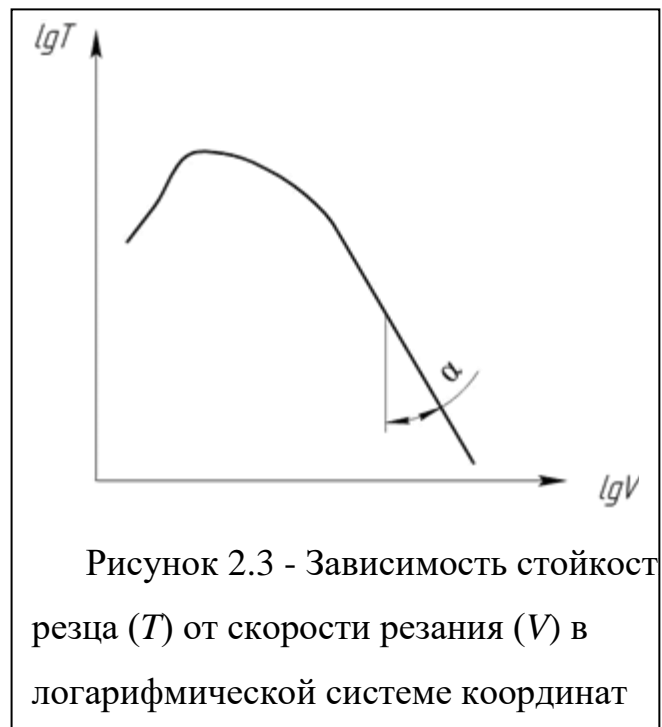
подачи, наростообразование из-за низкой скорости резания и вязкого материала, а также термическое растрескивание из-за многократных тепловых ударов и других, которые возникают из-за нерациональных параметров резания.

Типовая закономерность изменения износа во времени приведена на рисунке 2.2. На данном графике зависимости различают три участка развития износа инструмента – участок начального (приработочного) износа I, участок нормального износа II и участок катастрофического износа III. На участке катастрофического износа III может произойти поломка инструмента и работать в этом диапазоне нежелательно. Тем самым длительность работы инструмента ограничивают не предельным износом (достижение участка III), а некоторой величиной, называемой критерием затупления.



Критерием затупления $h_{кр}$ (критическим износом) называется величина износа, при котором инструмент подлежит замене или переточке [13]. Стойкостью инструмента T называется время работы инструмента до достижения критического износа $h_{кр}$. [13]

Стойкость инструмента определяется большим количеством факторов, но наибольшее влияние оказывает скорость резания. Зависимость стойкости инструмента (T) от скорости резания (V) представлена на рисунке 2.3. В области высоких скоростей резания зависимость $T=f(V)$ в логарифмических координатах близка к прямой, поэтому описывается формулой:



$$V = \frac{C_v}{T^{m_v}}, \text{ м/мин,} \quad (2.1)$$

где m_v – показатель относительной скорости инструмента, соответствующий $\text{tg} \lambda$.

2.2 Производительность обработки

Данная характеристика выражается количеством деталей, обработанных в единицу времени. В зависимости от стойкости инструмента T_i (мин) и скорости резания V_i (м/мин) производительность обработки может быть определена выражением:

$$\text{Пр} = \frac{0,06 \cdot T_i \cdot V_i \cdot S}{(1 + t_l \cdot V_i \cdot S \cdot 10^{-3}) \cdot (T_i + t_{\text{см}})}, \text{ м}^2 / \text{ час} \quad (2.2)$$

где S – скорость подачи, мм/об.;

t_l – время, необходимое на смену n деталей, с общей площадью обрабатываемой поверхности, равной 1 м^2 , $t_l = 60 \text{ мин/м}^2$;

$t_{см}$ – время, необходимое на замену инструмента после его затупления.

Типовой вид зависимости производительности обработки от скорости резания представлен на рисунке 2.4. При малых скоростях резания, когда $T \gg t_{см}$, производительность обработки увеличивается пропорционально росту скорости резания. При высоких скоростях, когда стойкость T становится сопоставимой со временем смены инструмента $t_{см}$, рост

производительности замедляется, и при дальнейшем росте скорости производительность начинает снижаться.

Скоростью максимальной производительности $V_{П}$ называют скорость, при которой производительность обработки достигает наибольшего значения [13].

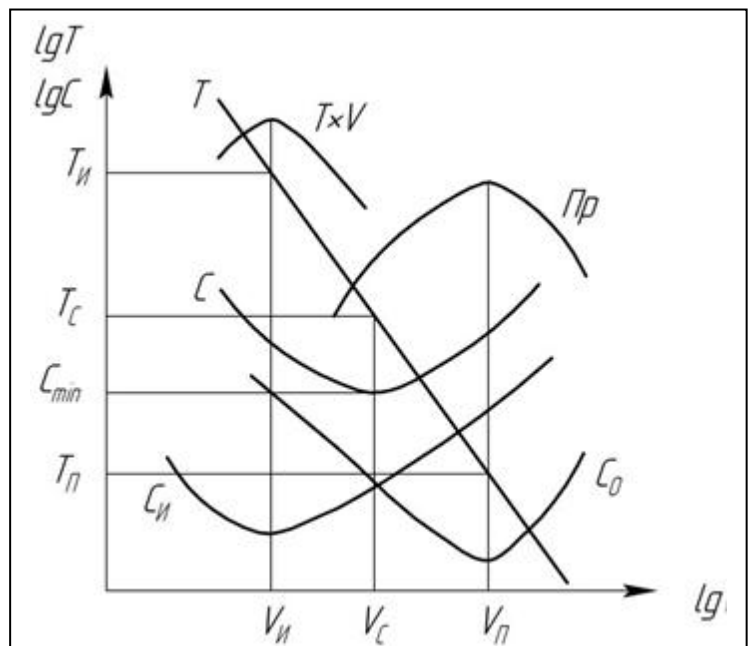


Рисунок 2.4 - График зависимостей производительности и затрат:
 $C_{и}$ – затраты на режущий инструмент; C_o – затраты на обработку за исключением затрат на инструмент; C – суммарные затраты на обработку; $Пр$ – производительность обработки

2.3 Затраты на инструмент

Затраты на инструмент – стоимость инструмента, перенесенная на единицу продукции [13]. При токарной обработке затраты на инструмент определяются следующим выражением:

$$C_{\text{и}} = \frac{C_2 \cdot 10^3}{V_i \cdot T_i \cdot S}, \text{руб/ м}^2 \quad (2.3)$$

где C_2 – затраты на один период стойкости резца, $C_2=100$ руб. Минимального значения затраты на инструмент достигают на скорости резания $V_{\text{и}}$ (см. рисунок 2.4) там, где произведение $T \times V$ максимально.

2.4 Затраты на обработку

Затраты на обработку включают в себя не только затраты на инструмент, но и затраты на станок, электроэнергию, труд рабочего и т.д. Все эти элементы затрат также переносятся на обработанную продукцию, увеличивая ее стоимость. Суммарные затраты на обработку могут быть определены по следующей формуле:

$$C_i = C_{O_i} + C_{\text{и}_i}, \text{руб/ м}^2 \quad (2.4.1)$$

где C_O – затраты на один час работы станка, руб.

$$C_{O_i} = \frac{C_1}{\text{Пр}_i}, \text{руб/ м}^2 \quad (2.4.2)$$

C_1 – стоимость одного часа эксплуатации оборудования, куда входят затраты на станок, затраты на зарплату рабочему, затраты на электроэнергию, затраты на ремонт станка и т.д. $C_1=400$ руб/час [13].

Затраты C_O обратно пропорциональны производительности обработки, поэтому зависимость C_O от скорости резания имеет вид,

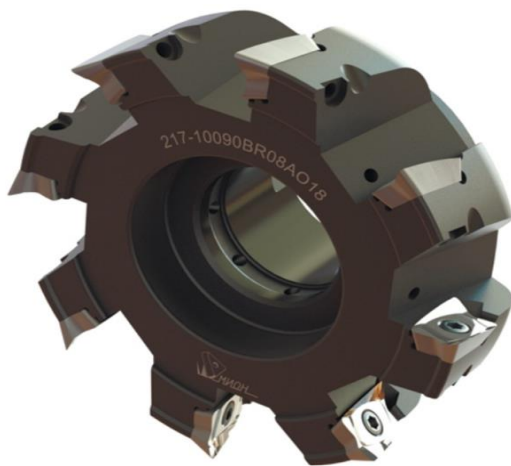
представленный на рисунке 2.4. Так как затраты на обработку C являются суммой затрат C_O и C_{II} , для построения зависимости $C=f(V)$ необходимо просуммировать зависимости $C_O=f(V)$ и $C_{II}=f(V)$.

Экономической скоростью резания V_C называют скорость, при которой затраты на обработку достигают наименьшего значения [13].

Производительность обработки и затраты на обработку являются основным критерием оптимальности процессов резания. Затраты на инструмент являются частным критерием, поскольку составляют только часть общих затрат на обработку.

2.5. Обработка результатов

Для определения стойкостных характеристик спроектированной сменной многогранной пластины SDCT 090308A1 обратимся к торцевой фрезе № 217, изготавливаемой в ООО «ПК МИОН» г. Томск, оснащенной сменными многогранными пластинами АОКХ 180604 FR-F (рисунок 2.5) для обработки алюминия и алюминиевых сплавов с углом в плане $\varphi = 90^\circ$.



а)



б)

Рисунок 2.5 – торцевая насадная фреза № 217 с СМП для обработки алюминия и алюминиевых сплавов изготовленной в ООО «ПК МИОН» (а) ; сменная многогранная пластина АОКХ 180604 FR-F, установленная в

В технических условиях на данный фрезерный инструмент [14] указаны режимы резания и марки обрабатываемых материалов, (таблица 2.5), суммарная длина фрезерования; критерий затупления и др.

Таблица 2.5.1 – Режимы испытаний торцовых насадных фрез со сменными многогранными пластинами с углом в плане $\varphi = 90^\circ$ для обработки алюминиевых сплавов на работоспособность.

Обрабаты- ваемый материал	Марка твердого сплава режущей части	Диаметр фрезы, мм	Скорость резания, м/мин	Подача на зуб, мм/об	Глубина фрезерования мм
Алюминий АД1 ГОСТ 4784 НВ 95...100	1DA44 (Группа применения Р, М, N)	63	500	0,20	3,0
		80			
		100			
		125			
		160			
		200			
Алюминиевый сплав Д16 ГОСТ 4784 НВ 42...62	1DA44 (Группа применения Р, М, N)	63	200	0,20	3,0
		80			
		100			
		125			
		160			
		200			

Примечание:

1. Для фрез, оснащенных твердосплавными пластинами с износостойким покрытием, скорость резания увеличивается на 20%.

2. Допускаются отклонение величины скорости резания и подачи на зуб от указанных, в пределах 10%.

При указанных режимах резания представленных марок алюминиевых сплавов критерием затупления является фаска на главной задней поверхности, величина которой не должна превышать $h_{кр} = 0,2$ мм [14].

В качестве обрабатываемого материала выберем пруток из алюминиевого деформируемого сплава Д16 диаметром 70 мм с твёрдостью НВ = 42 МПа. Обработка прутка будет осуществляться на токарном станке 1К62. Для Д16: $t = 3$ мм, $V = 200$ м/мин, $s = 0,75$ мм/об. Тогда по формуле [15]:

$$V = \frac{C_{V_1}}{T^m \cdot t^{x_{V_1}} \cdot s^{y_{V_1}} \cdot \left(\frac{HB}{200}\right)^n} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot k_8 \cdot k_9 \quad (2.5.1)$$

Из выше указанной формулы по известной рекомендованной скорости резания $V = 200$ м/мин рассчитаем период стойкости T .

Так как максимальная скорость резания для Д16 составляет 200 м/мин, то частота вращения шпинделя:

$$n_{\text{расч}} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 200}{3,14 \cdot 70} 909,45 = 909 \text{ об/мин} \quad (2.5.2)$$

По паспорту станка установим $n=900$ об/мин.

Фактическая скорость резания:

$$V_{\text{факт}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 900}{1000} = 198 \text{ м/мин} \quad (2.5.3)$$

Обработка будет производиться без СОЖ, соответственно, определим коэффициенты:

1) $k_1 = \left(\frac{q}{600}\right)^{0,04} = \left(\frac{450}{600}\right)^{0,04} = 0,98$ - коэффициент размеров резца, где q – площадь поперечного сечения резца, мм^2 ;

2) $k_2 = \left(\frac{45}{\varphi}\right)^n = \left(\frac{45}{45}\right)^{0,3} = 1$ - коэффициент угла в плане φ , где $n=0,3$ – при обточке резцами из твердых сплавов группы ТК и ТТ;

3) $k_3 = \left(\frac{15}{\varphi_1}\right)^{0,09} = \left(\frac{15}{45}\right)^{0,09} = 0,91$ - коэффициент влияния угла (знаменатель 15 – для твердосплавного инструмента);

- 4) $k_4 = \left(\frac{r}{2}\right)^n = \left(\frac{0,8}{2}\right)^{0,1} = 0,91$ - коэффициент влияния радиуса при вершине резца, где $n=0,1$ при глубокой обработке;
- 5) $k_5 = 0,85$ - коэффициент влияния инструментального материала;
- 6) $k_6 = 0,8$ - коэффициент влияния марки обрабатываемого материала;
- 7) $k_7 = 1$ - коэффициент влияния вида материала заготовки (1,0 для нормализованного и горячекатаного) ;
- 8) $k_8 = 0,9$ - коэффициент влияния обрабатываемой поверхности (0,9 для алюминиевых сплавов);
- 9) $k_9 = 1$ - коэффициент влияния передней поверхности резца (1 для положительного переднего угла);
- 10) показатель степени $xv_1 = 0,18$ для глубины резания t ;
- 11) показатель степени $uv_1 = 0,35$ для продольной подачи s ;
- 12) показатель $Cv_1 = 267$ при продольной подаче $s = 0,75$ мм/об и без охлаждения;
- 13) показатель степени $n=1$ при обработке материалов с твёрдостью $\geq 130\text{HB}$;
- 14) показатель степени $m=0,3-0,33$ для алюминиевых сплавов.

Из формулы (2.5.1), получим:

$$T^m = \frac{C_{v_1} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot k_8 \cdot k_9}{V \cdot t^{x_{v_1}} \cdot s^{y_{v_1}} \cdot \left(\frac{HB}{200}\right)^n} = \frac{267 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1}{198 \cdot 3^{0,18} \cdot 0,75^{0,35} \cdot \left(\frac{42}{200}\right)^1} =$$

$$= 3,50$$

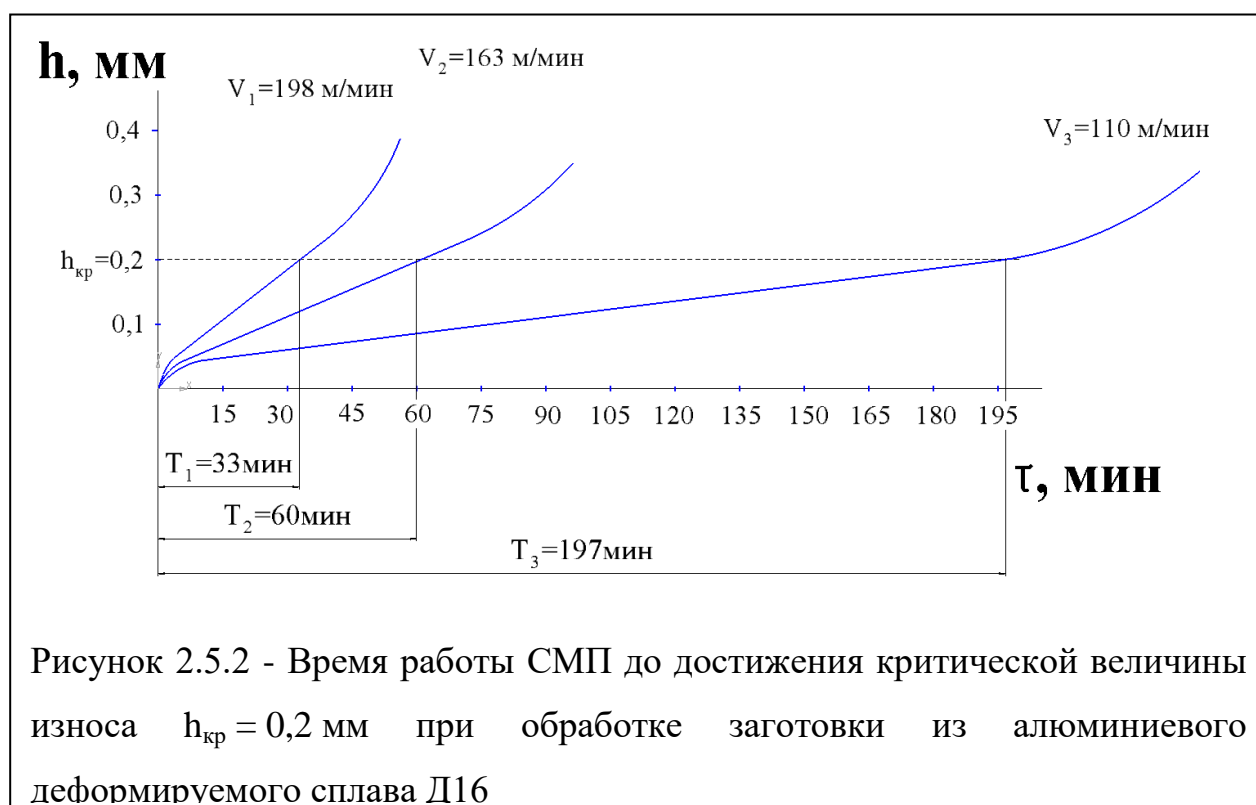
$$T = \sqrt[0,33]{3,5} \approx 33 \text{ минуты.}$$

По данному алгоритму, занесем данные в таблицу 2.5.2:

Таблица 2.5.2. – Период стойкости СМП при обработке сплава Д16 с различной скоростью резания

Теоретическая скорость резания, м/мин	Расчетное число оборотов шпинделя, Об/мин	Фактическое число оборотов шпинделя Об/мин	Фактическая скорость резания, м/мин	Вычисленный период стойкости мин	Диаметр заготовки, мм
$V_1=200$	$n_1=909,45$	$n_1'=900$	$V_1'=198$	$T_1=33$	70
$V_2=150$	$n_2=737,84$	$n_2'=750$	$V_2'=163$	$T_2=60$	
$V_3=130$	$n_3=591,14$	$n_3'=500$	$V_3'=110$	$T_3=197$	
$V_4=60$	$n_4=272,83$	$n_4'=315$	$V_4'=69$	$T_4=813$	

График кривых скоростей резания при обработке заготовки из алюминиевого сплава Д16 приведен на рисунке 2.5.2:



Вычислим производительность обработки Pr по формуле (2.2), затраты на инструмент по формуле (2.3), затраты на обработку по формулам (2.4.1) и (2.4.2) и занесем данные в таблицу 2.5.3.

Таблица 2.5.3 – Величины основных показателей эффективности в зависимости от скорости резания

T	V	Pr	C_o	$C_{и}$	C
мин	м/мин	м ² /час	руб/м ²		
60	163	0,825	484,848	136,33	621,18
50	173	0,820	487,805	154,14	641,94
40	186	0,812	492,610	179,21	671,82
30	205	0,796	502,512	216,80	719,31
20	234	0,761	525,624	284,90	810,52
15	258	0,726	550,964	344,53	895,50
10	295	0,664	602,409	451,97	1054,38
6	349	0,564	709,220	636,74	1345,96
4	399	0,473	845,666	835,42	1681,08
2	501	0,319	1253,918	1330,67	2584,60

Построим график зависимости периода стойкости и скорости резания алюминиевого деформируемого сплава Д16, на котором будут отображаться производительность обработки Pr , затраты на обработку C_o , затраты на инструмент $C_{и}$ и суммарные затраты. Из графика и табличных значений видно, что при скорости резания $V = 200$ м/мин, период стойкости будет иметь значение 30 минут, при котором, максимальная производительность обработки. Минимальные затраты на инструмент достигаются при $V = 75$ м/мин, минимальные суммарные затраты на обработку при $V = 115$ м/мин.

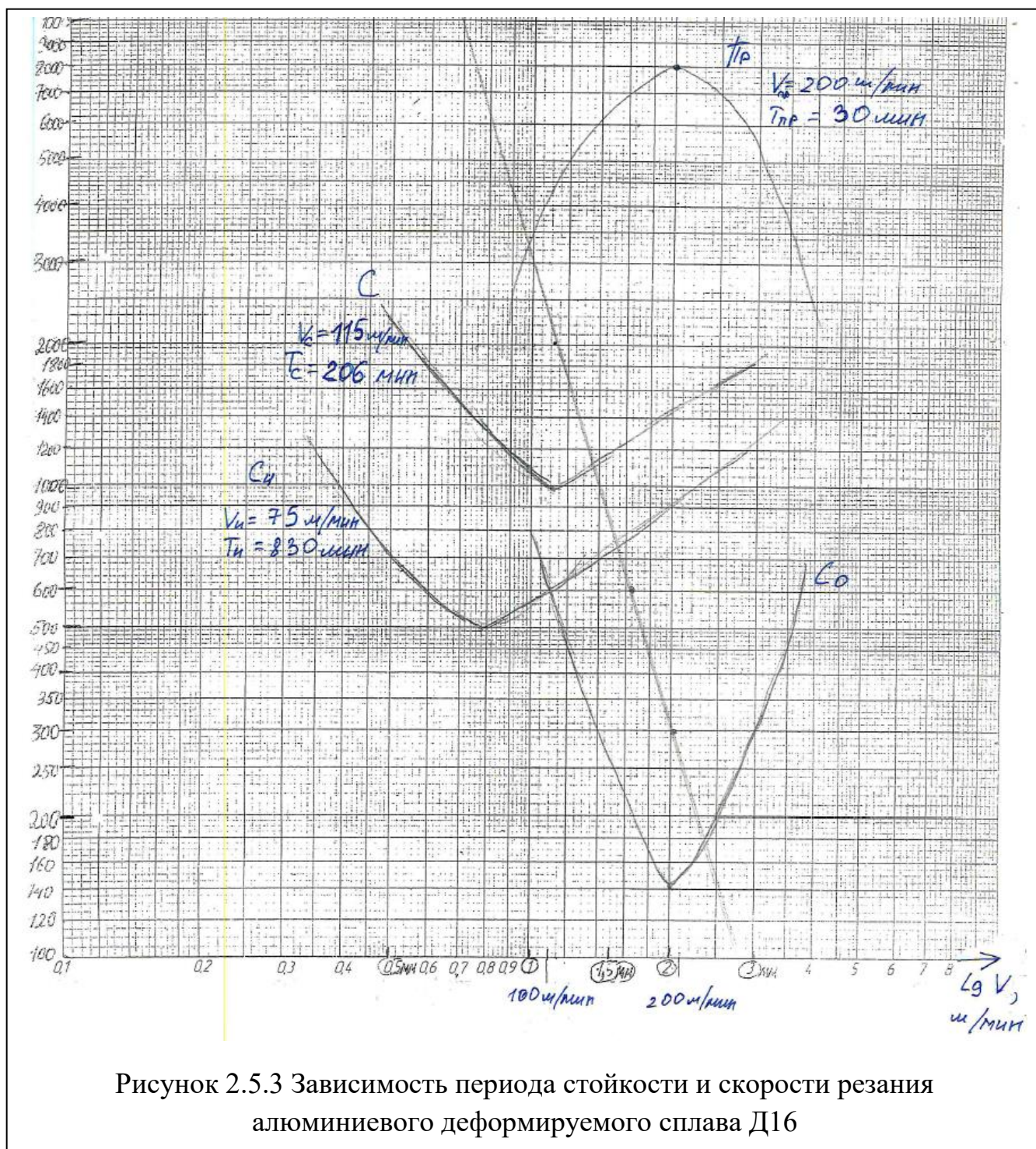


Рисунок 2.5.3 Зависимость периода стойкости и скорости резания
алюминиевого деформируемого сплава Д16

3. Исследование силовых процессов резания

Силы резания возникают из-за механического взаимодействия режущего клина с обрабатываемым материалом (см. рисунок 3.1):

- 1) Сила нормального давления на переднюю поверхность N .
- 2) Сила трения на передней поверхности F .
- 3) Сила нормального давления на заднюю поверхность N_1 .
- 4) Сила трения на задней поверхности F_1 .

5) Сила нормального давления N_2 и трения F_2 на радиусном участке при вершине резца (на рисунке 3.1 не показаны).

Данные силы резания N , F , N_1 и F_1 являются физическими составляющими силы резания.

Крайне необходимо учитывать технологические составляющие усилий резания для решения достижения заданной точности, задач с необходимой мощностью станка, прочностные расчеты материалов и прочее. Например, при обработке заготовки на токарном станке (продольное точение) составляющими технологическими усилиями резания будет результирующая сила резания, возникающая на оси прямоугольной системе координат

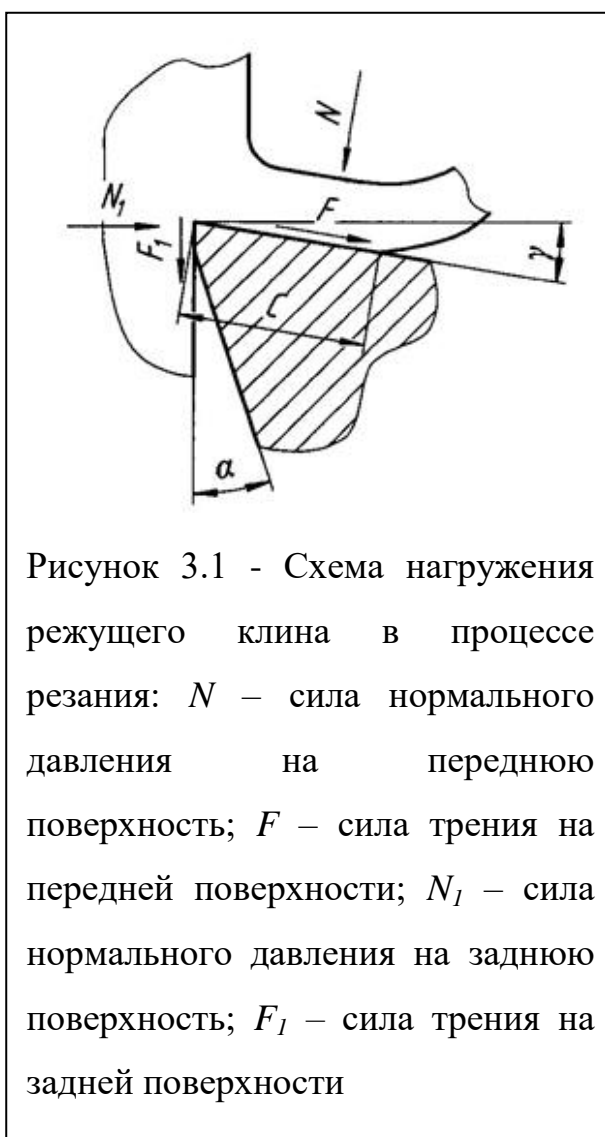


Рисунок 3.1 - Схема нагружения режущего клина в процессе резания: N – сила нормального давления на переднюю поверхность; F – сила трения на передней поверхности; N_1 – сила нормального давления на заднюю поверхность; F_1 – сила трения на задней поверхности

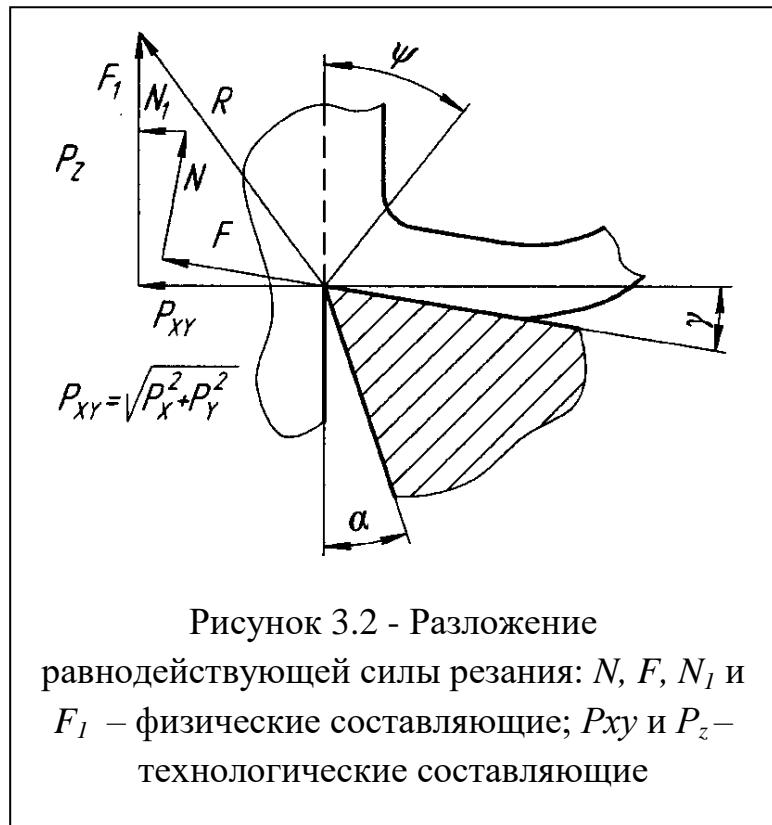
X , Y , Z , что указано на рисунке 3.2. Так как физические и

технологические составляющие усилий резания являются компонентами одной и той же результирующей силы резания R , между ними наблюдается взаимосвязь [16]:

$$R = N + N_I + N_2 + F + F_2 + F_2 = P_X + P_Y + P_Z \quad (3.1.1)$$

Для определения результирующей силы резания, первым делом определяют технологические составляющие усилий резания P_Z , P_{xy} , далее рассчитывают физические составляющие. Данную связь можем наблюдать на рисунке 3.2 [16].

Режимы резания, геометрические



параметры режущего инструмента, условия обработки, свойства инструментально и обрабатываемого материала – все это оказывает существенное влияние на величину и направление силы резания. Эти факторы влияют на величину силы резания посредством изменения двух величин: величина сопротивления пластическому деформированию в зоне стружкообразования (напряжение на условной плоскости сдвига τ_ψ) и величины угла сдвига ψ . При этом увеличение τ_ψ приводит к росту силы резания, а рост угла сдвига ψ – к уменьшению силы резания [16].

3.1 Влияние режимов обработки

Возникающие силы резания увеличиваются из-за повышения скорости резания V (м/мин), так как растет уровень температур и интенсивность тепловыделения из-за механического взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемой деталью в зоне резания, что приводит к уменьшению угла сдвига ψ и увеличению пластической деформации в зоне стружкообразования, увеличению τ_{ψ} .

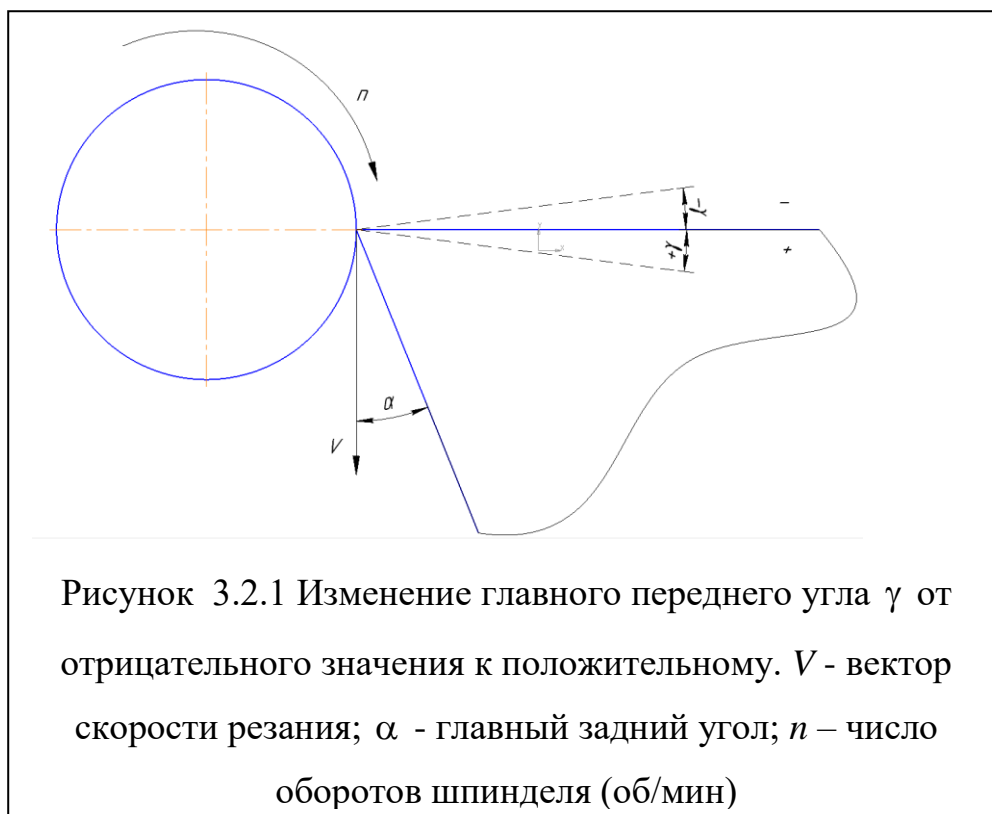
При дальнейшем увеличении скорости резания увеличивается скорость деформации в зоне первичных пластических деформаций, что приводит к уменьшению пластичности материала в этой области. Поэтому при существенном увеличении скорости резания (более 150 м/мин при обработке незакалённой стали) происходит увеличение угла сдвига ψ , уменьшение зоны первичных пластических деформаций, что приводит к уменьшению силы резания.

Площадь сдвига толщины срезаемого слоя растет прямо пропорционально при увеличении подачи, одновременно с этим должна возрасти сила резания. Но при этом неизбежно увеличение температуры и угла сдвига срезаемого слоя, а эти факторы, как известно [16], снижают силы резания. Однако, при увеличении площади сдвига срезаемого слоя, вызываемой увеличением подачи, оказывает более существенное влияние на увеличение силы резания.

Если же увеличивать глубину резания t , то площадь сдвига срезаемого слоя растет прямо пропорционально. При этом температура остается практически постоянной, т.к. увеличивается теплоотвод из зоны резания и зоны контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Поэтому обычно угол сдвига не изменяется. Следовательно, при увеличении глубины резания t будет увеличение силы резания.

3.2. Влияние геометрических параметров инструмента

На величину силы резания существенное влияние оказывает геометрия режущего клина, а именно: величина главного переднего угла γ и величина главного угла в плане ϕ .



При изменении величины главного переднего угла γ от отрицательного к положительному значению происходит отклонение направления действия максимальных касательных напряжений по часовой стрелке, а также направление плоскости сдвига. При этом угол сдвига начинает расти, что приводит к уменьшению площади плоскости сдвига, и, соответственно, уменьшению сил резания.

Увеличение главного угла в плане ϕ приводит к уменьшению сил резания, так как увеличивается толщина срезаемого слоя и уменьшается ширина.

3.3. Воздействие механических свойств материала заготовки

Принято считать, что при увеличении предела прочности на растяжение σ_b , также увеличиваются и касательные напряжения τ_ψ ; в то же время увеличивается интенсивность тепловыделения при резании [16]. С увеличением предела прочности на растяжение σ_b пластичность обрабатываемого материала, как правило, уменьшается, следовательно, уменьшается зона стружкообразования и увеличивается величина угла сдвига ψ . Следовательно, при больших значений прочности на растяжение обрабатываемого материала должно вызывать уменьшение составляющих сил резания при обработке. Но увеличение прочности вызывает увеличение предела прочности на сдвиг, поэтому должно происходить увеличение силы резания. Поэтому данные характеристики обрабатываемого материала разнонаправленно влияют на величину силы резания. На практике при лезвийной обработке более значимым является прочность на растяжение обрабатываемого материала. Следовательно, с ростом σ_b сила резания обычно увеличивается. Возможно и обратное явление.

3.4 Воздействие материалов инструмента и заготовки через теплопроводность

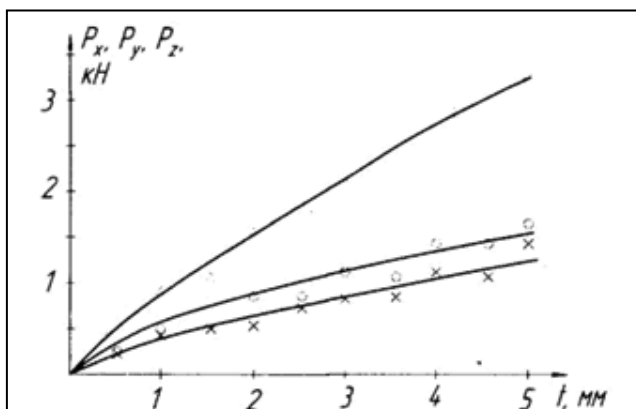
Снижение теплопроводности (при постоянных механических характеристиках) инструментального материала и обрабатываемого материала приводит к возрастанию уровня температур в зоне резания и увеличение пластичности обрабатываемого материала. Следовательно, должно происходить

увеличение зоны первичной пластической деформации, однако существенное уменьшение сопротивление пластическому

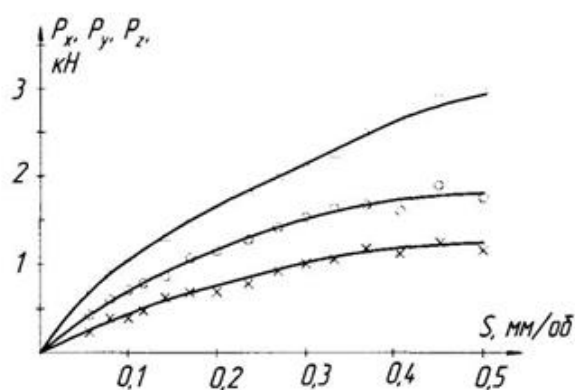
деформированию приводит к уменьшению напряжения на условной плоскости сдвига τ_ψ и увеличению величины угла сдвига ψ . Оба эти фактора будут приводить к снижению силы резания [16].

Графические зависимости технологических составляющих сил резания от глубины резания t и подачи s представлены на рисунке 3.4.1.

Из приведенных графиков видно, что при увеличении подачи s или при



а)



б)

Рисунок 3.4.1:

а) зависимости составляющих P_x, P_y и P_z от глубины резания t .

б) зависимости составляющих P_x, P_y и P_z от глубины резания t

увеличении глубины срезаемого слоя t технологические составляющие сил резания монотонно возрастают. Данная взаимосвязь между технологическими составляющими сил резания и параметрами обработки описывается эмпирическими формулами [16]:

$$P_z = C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot s^{y_{Pz}} \cdot v^{n_{Pz}} \quad (3.4.1)$$

$$P_y = C_{Py} \cdot t^{x_{Py}} \cdot s^{y_{Py}} \cdot v^{n_{Py}} \quad (3.4.2)$$

$$P_x = C_{Px} \cdot t^{x_{Px}} \cdot s^{y_{Px}} \cdot v^{n_{Px}} \quad (3.4.3),$$

где C_p , x , y и n – постоянные, которые зависят непосредственно от вида обработки, от марки обрабатываемого материала; v – скорость резания.

В приведенных эмпирических выражениях показатели степени x и y всегда меньше единицы. Из этого следует, что технологические составляющие сил резания меняются обратно пропорционально изменению глубины резания и подачи. Например, при увеличении подачи и глубины срезаемого слоя в два раза, технологические составляющие силы резания обратно пропорционально увеличатся меньше чем в два раза.

Показатель степени n , который стоит у скорости резания v в эмпирических уравнениях (3.4.1), (3.4.2) и (3.4.3), всегда имеет отрицательное значение и имеет очень малое значение. Из этого следует, что силы резания уменьшаются при увеличении скорости резания v , но существенно в малых пределах. Необходимо учитывать влияние скорости резания на наростообразование, т.е. скорость резания должна быть в зоне отсутствия образования нароста, т.е. более 50 м/мин

Кроме технологических составляющих сил резания особенной характеристикой при лезвийной обработке является удельная мощность резания [16]:

$$A_w = \frac{P_z \cdot v}{s \cdot t}, \text{Вт/мм}^2 \quad (3.4.4)$$

Данный параметр является энергетической характеристикой при лезвийной обработке. Из данной формулы видно, что параметры режимов резания глубины резания t и подачи s находятся в знаменателе, следовательно, при их увеличении значение удельной мощности монотонно уменьшается, хотя их увеличение приводит к увеличению тангенциальной составляющей силы резания P_z , которая стоит в числителе. Графические зависимости удельной мощности резания от глубины резания t и подачи s представлены на рисунке 3.4.2 и 3.4.4. Из данных графиком можно сделать вывод, что энергетически выгодно проводить обработку заготовки с большими сечениями срезаемого слоя.

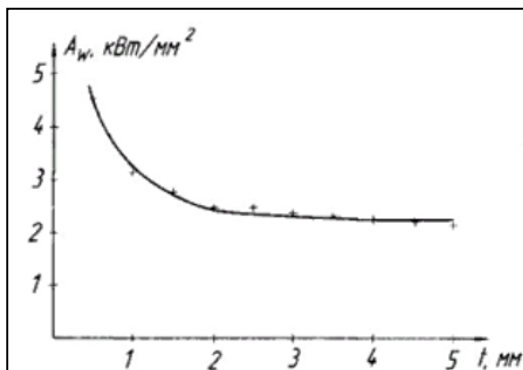


Рисунок 3.4.2 - Зависимость удельной мощности резания A_w от глубины резания t .

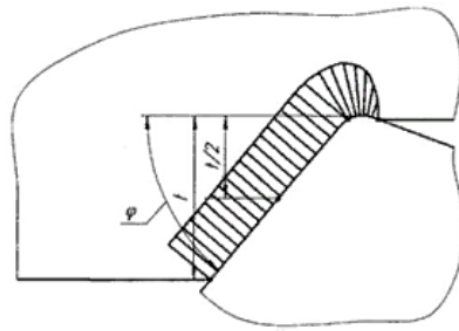


Рисунок 3.4.3 - Распределение нагрузки вдоль режущей кромки резца при его работе.

Объяснение непропорционального явления снижения удельной мощности резания от увеличения толщины срезаемого слоя заключается в следующем: возникающая сила резания на инструменте представляет собой сумму сил, которые проявляются на участке главной режущей кромки P_L , а также на радиусном участке при вершине резца P_R , как указано на рисунке 3.4.3. При уменьшении глубины срезаемого слоя t в несколько раз длина активной части главной режущей кромки также уменьшится в несколько раз. Следовательно, составляющая сила резания, возникшая на участке главной режущей кромке P_L , уменьшится в несколько раз, а составляющая сила резания на радиусном участке P_R остается постоянной [16].

При уменьшении глубины срезаемого слоя t удельная мощность резания возрастает, так как возникающая сила резания на радиусном участке резца P_R не зависит от данного параметра режима обработки. Из-за этого явления величины показателя степени x_p в уравнениях (3.4.1) – (3.4.3) всегда меньше единицы.

Подобным образом, но несколько иначе, можно объяснить и снижение показателя удельной мощности резания при возрастании величины подачи s . На рисунке 3.4.5 приведена схема действия физических составляющих сил резания на площадке контакта передней и задней поверхностям режущего клина инструмента [16].

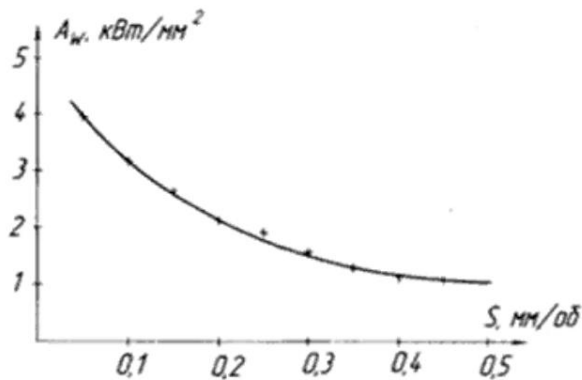


Рисунок 3.4.4 - Зависимость удельной мощности резания A_w от скорости подачи s .

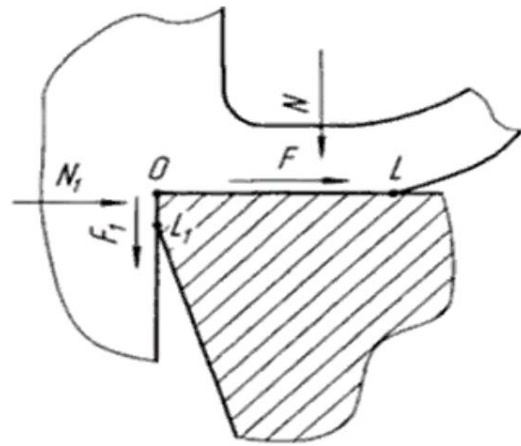


Рисунок 3.4.5 - Действие физически составляющих силы резания на площади контакта по передней и задней поверхностям резца.

Для простого разъяснения рассмотрим инструмент, величина переднего угла которого равна $\gamma = 0^\circ$. В данном случае технологическая составляющая сила резания P_z будет определяться суммой сил нормального давления, возникающей на передней поверхности N и силой трения, возникающей на задней поверхности F_1 :

$$P_z = N + F_1$$

Возникающая на задней поверхности сила трения F_1 не зависит от глубины резания t , а возникающая сила на передней поверхности нормального давления N , наоборот, меняется пропорционально глубине резания. Из данной закономерности следует, что удельная мощность резания будет возрастать при снижении подачи, так как сила трения на задней поверхности инструмента F_1 не зависит от глубины резания. Из-

за данного явления показатели степени u_P в приведенных уравнениях (3.4.1) – (3.4.3) всегда меньше единицы.

3.5 Обработка результатов

Так как режимы резания для алюминиевого деформируемого сплава Д16 регламентированы в таблице 2.5.1, рассчитаем технологические составляющие сил резания.

Расчет технологических составляющих сил резания будет рассчитан более подробной формулой [15]:

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot HB^n \cdot k'_m \cdot k_\varphi \cdot k_r \cdot k_\gamma \cdot k_h \quad (3.5.1)$$

Где:

1) $C_p = 40$ - значение коэффициента, выбирающегося из табличных данных;

2) $X=1,0$ - значение показателя степени для глубины резания t , выбирающегося из табличных данных;

3) $Y=0,75$ – значение показателя степени для скорости подачи s , выбирающегося из табличных данных

4) $HB = 42$ МПа, твердость алюминиевого деформируемого сплава Д16;

5) $n=0$ - значение показателя степени для твердости обрабатываемого материала, выбирающегося из табличных данных;

6) $k'_m = 0,2$ – коэффициент при обработки алюминия;

7) $k_\varphi = \left(\frac{45}{\varphi}\right)^{0,1} = 1$, коэффициент, учитывающий угол в плане. Угол

в плане остается неизменным $\varphi = 45^\circ$;

8) $k_r = \left(\frac{r}{2}\right)^{0,07} = 0,94$ коэффициент, учитывающий радиус при вершине пластины, $r=0,8$ мм;

9) $k_\gamma = 0,9$ - коэффициент, учитывающий передний угол сменной многогранной пластины, $\gamma = 15^\circ$;

10) $k_h = 0,87$ - коэффициент, учитывающий критерий износа, где износ по главной задней поверхности должен быть не более 0,2мм.

По формуле (3.5.1) получим:

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot HB^n \cdot k'_m \cdot k_\phi \cdot k_r \cdot k_\gamma \cdot k_h =$$

$$= 40 \cdot 3^{1,0} \cdot 0,75^{0,75} \cdot 42^0 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 0,9 \cdot 0,87 = 14,23 \text{ Н}$$

Рассчитаем максимально допустимую удельную мощность резания, при данной технологической составляющей силе резания и оптимальной скорости резания $V = 163$ м/мин по формуле (3.4.4):

$$A_w = \frac{P_z \cdot v}{s \cdot t} = \frac{14,23 \cdot 163}{0,75 \cdot 3} = 1,030 \text{ кВт/мм}^2$$

Занесем данные в таблицу 3.5.1.

Таблица 3.5.1 – Определение составляющих силы резания при изменении подачи и глубины резания

№	t, мм	s, мм/об	P_z , Н	V, м/мин	A_w , кВт/мм ²
1	0,5	0,07	0,4	163	1,86
2	0,5	0,11	0,56	163	1,66
3	1	0,15	1,41	163	1,53
4	1	0,21	1,82	163	1,41
5	1,5	0,26	3,21	163	1,34
6	1,5	0,34	3,93	163	1,25
7	2	0,43	6,25	163	1,18
8	2	0,52	7,21	163	1,13
9	2,5	0,58	9,78	163	1,10
10	2,5	0,61	10,16	163	1,085
11	3	0,69	13,37	163	1,052
12	3	0,75	14,23	163	1,030

Из табличных данных видно, что при уменьшении глубины срезаемого слоя t удельная мощность резания возрастает, так как возникающая сила резания на радиусном участке резца (см. рисунок 3.4.3) не зависит от данного параметра режима обработки и остается постоянной.

Также, удельная мощность резания будет возрастать при снижении подачи, так как сила трения на задней поверхности инструмента F_l (см. рисунок 3.4.5) не зависит от глубины резания, а возникающая сила на передней поверхности нормального давления N , наоборот, меняется пропорционально глубине резания.

$A_w, \text{кВт/мм}^2$

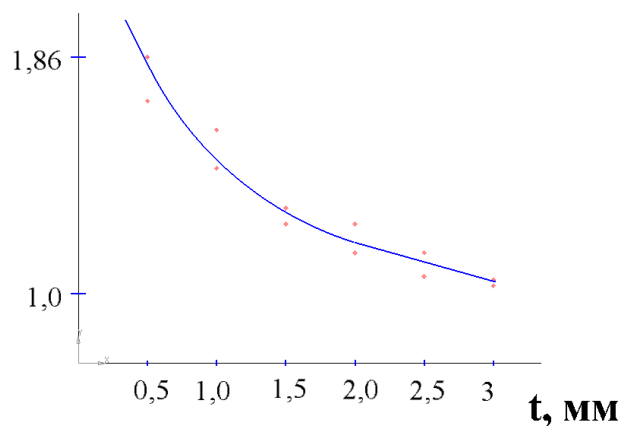


Рисунок 3.5.1 Зависимость удельной мощности резания от изменения глубины резания t , при обработке алюминиевого деформируемого сплава Д16

$A_w, \text{кВт/мм}^2$

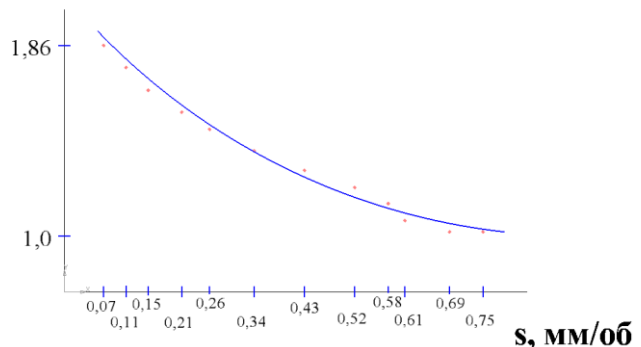


Рисунок 3.5.2 Зависимость удельной мощности резания от изменения скорости подачи s , при обработке алюминиевого деформируемого сплава Д16

4. Расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущей кромки сменной многогранной пластины SDCT 090308A1

4.1 Создание 3D-модели сменной многогранной твердосплавной пластины SDCT 090308A1

Для исследования проектируемой СМП на напряженно-деформируемое состояние (НДС) необходимо создать ее 3D-модель. В качестве программного обеспечения была выбрана программа «KOMPAS 3D».

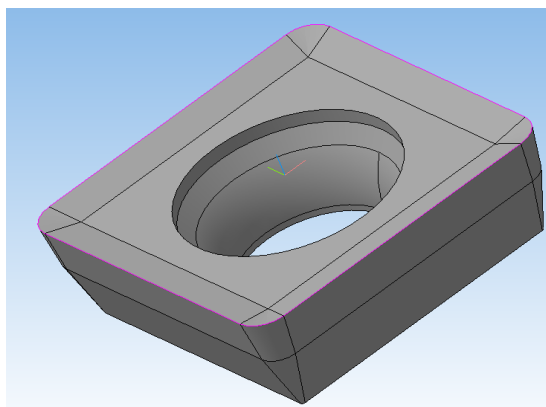


Рисунок 4.1 – 3D-модель сменной многогранной твердосплавной пластины SDCT 090308A1

Модель была создана в масштабе 1:1, все необходимые геометрические параметры были взяты из приложения Б, а именно:

- величина вписанной окружности пластины 9,525 мм;
- пластина квадратная, соответственно радиус при вершине на всех четырех гранях $r=0,8\text{мм}$;
- ее толщина составляет $s=3,18\text{ мм}$;
- передний угол равен $\gamma = 15^\circ$ на расстоянии от режущей кромки 1 мм;

- главный задний угол равен $\alpha = 8^\circ$;
- вспомогательный задний угол остается неизменным и равным $\alpha_{\text{всп}} = 16^\circ$.

Для дальнейшего удобства приложения внешних контактных нагрузок необходимо провести сечение СМП, оставив задействованную активную часть режущей кромки:

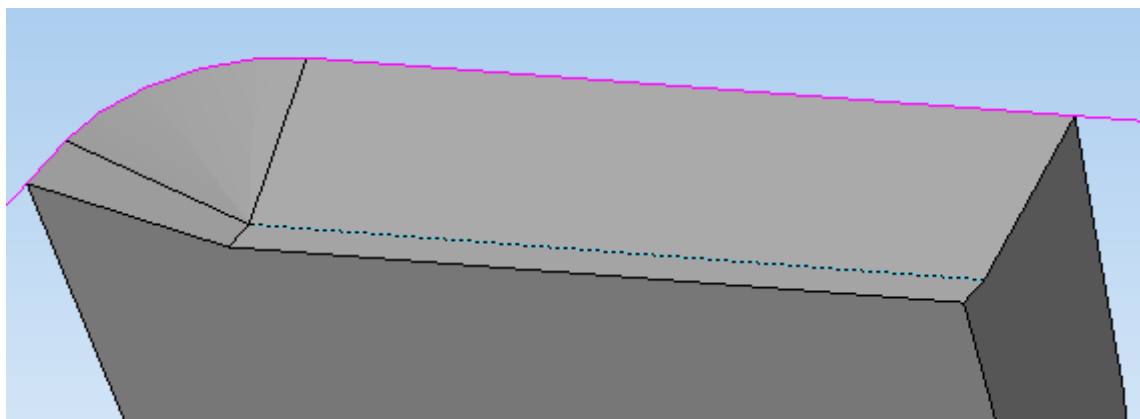
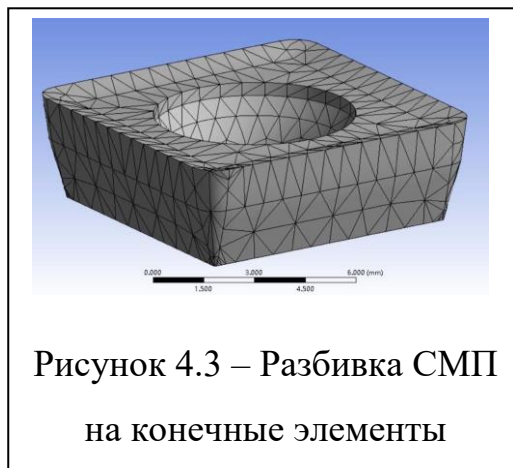


Рисунок 4.2 – 3D-модель активной режущей кромки сменной многогранной твердосплавной пластины (СМП) SDCT 090308A1

4.2 Расчёт НДС режущего клина методом конечных элементов с использованием программы «ANSYS»

Сменная многогранная пластина SDCT 090308Al разбивается на конечные элементы, а именно на прямоугольные и треугольные участки, где их размеры определяют точность расчета.

Для определения напряженно-деформируемого состояния твердосплавной пластины и расчета на прочность необходимо получить распределение внутренних напряжений: касательных,



нормальных и эквивалентных. Распределение внутренних эквивалентных напряжений отображают интегрированные значения нормальных напряжений, возникающих в твердосплавной пластине при резании. Распределение нормальных напряжений отображают вид нагрузки: напряжение сжатия или же напряжение растяжения.

При обработке алюминиевого деформируемого сплава Д16, твердосплавной пластиной из твердого сплава ТТ20К9 предел прочности на изгиб режущей пластины составляет 1500 МПа, предел прочности на сжатие – 3000 Мпа, предел прочности на растяжение – 650 МПа. Графическое представление напряженно-деформируемого состояния СМП представлены на рисунках 4.2.2-4.2.4.

При фрезеровании обычно используется встречное фрезерование (рис. 4.4). При этой схеме резания в начальный момент контакта с заготовкой зуб фрезы начинает резание с нулевой толщиной среза толщина среза ($a_{i\text{нач}} = 0$ мм). Образование стружки при этом не происходит, а подминаемый под режущую кромку металл оказывает большое радиальное давление на зуб фрезы, при этом

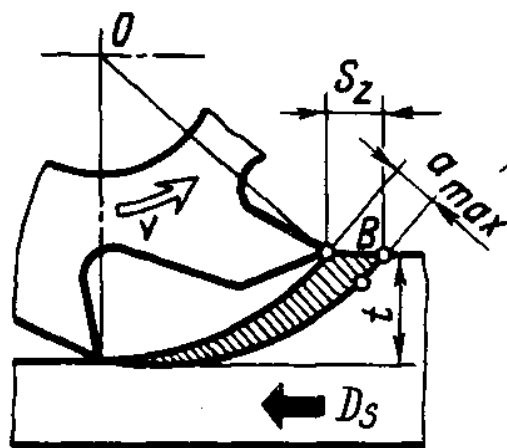
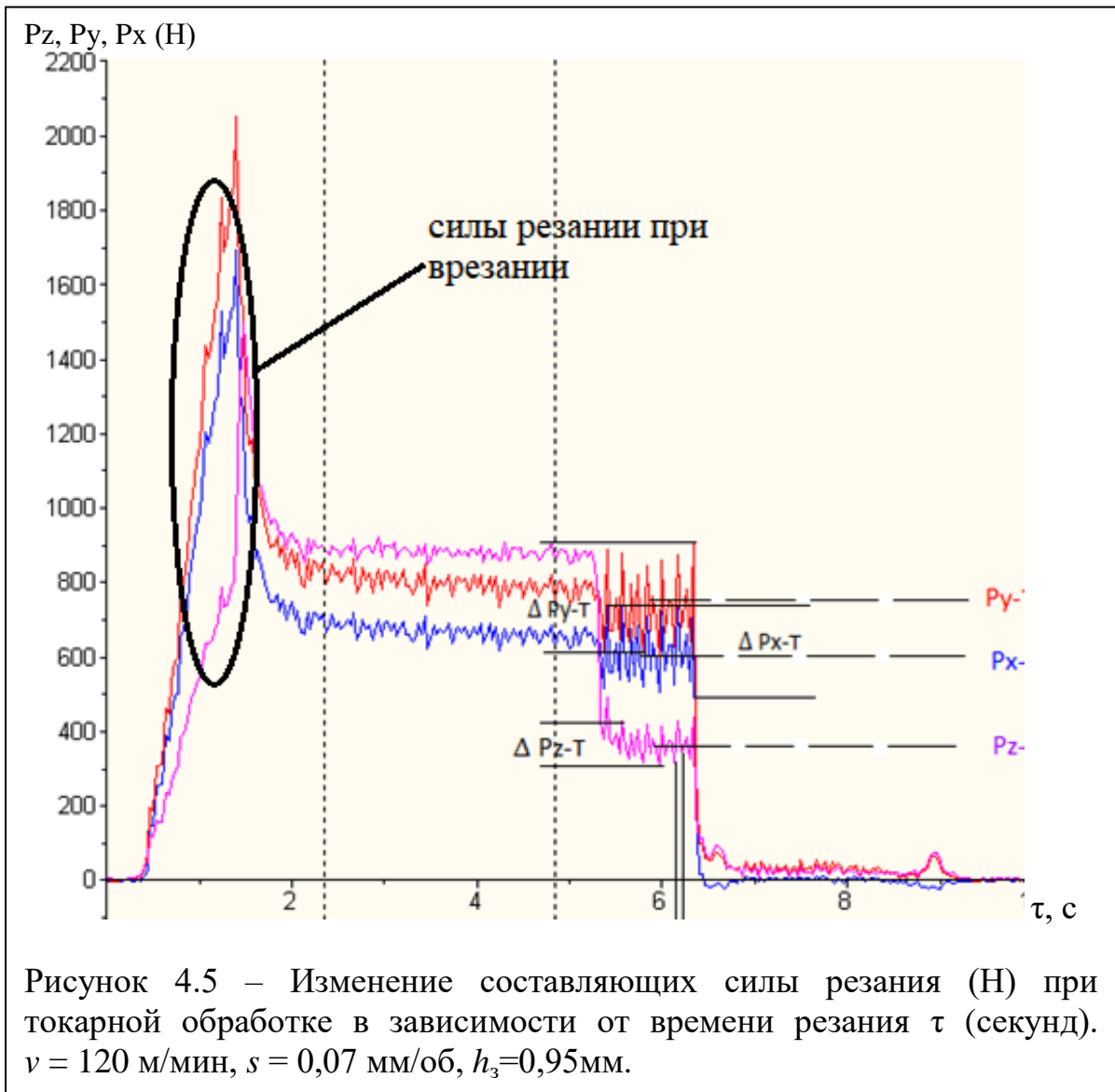


Рисунок 4.4 — Схема встречного фрезерования

происходит кратковременное увеличение всех составляющих силы резания в 1,5-2,2 раза по сравнению с установившемся резании в зависимости от подачи [10].

Измерение физических составляющих силы резания, действующих на зуб концевой или торцевой фрезы, затруднено из-за вращения фрезы и поворота составляющих P_z и P_y силы резания относительно оси вращения фрезы. Поэтому врезание зуба торцевой фрезы с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$ было смоделировано врезанием главной режущей кромки токарного резца в коническую часть заготовки, оставшуюся от предыдущего резания резцом с $\varphi = 45^\circ$, что обеспечивало контакт резца сразу по всей длине режущей кромки в начальный момент её касания.

После того, как толщина среза a_i (мм) увеличивается настолько, что начинает формироваться стружка на передней поверхности и



начинается ее последующее перемещение по передней поверхности, толщина слоя металла, подминаемого под режущую кромку, уменьшается. Это приводит к уменьшению составляющих силы резания P_z , P_y и P_x (рис. 4.5).

После выхода на установившееся резание через несколько секунд продольная механическая подача отключалась, но резец не отводился от поверхности резания в течение 1-3 секунд. Силы, возникающие во

время трения фаски задней поверхности с поверхностью резания, были значительны (рис. 4.4, правая сторона графиков). Наибольшее значение имела радиальная составляющая силы резания P_y , которая всего на 10-15% была меньше по сравнению с установившемся резанием. Наименьшая величина была у тангенциальной составляющей силы резания P_z , но и она составляла 50% от установившегося резания.

Полученные результаты говорят о том, что в процессе образования стружки контакт с поверхностью фаски на задней поверхности существенно уменьшается, что подтверждает наличие прогиба поверхности резания под действием радиальной составляющей силы на передней поверхности инструмента [10].

Таким образом, при встречном фрезеровании имеются три наиболее опасные положения зуба фрезы с точки зрения его хрупкого разрушения:

1) при врезании зуба;

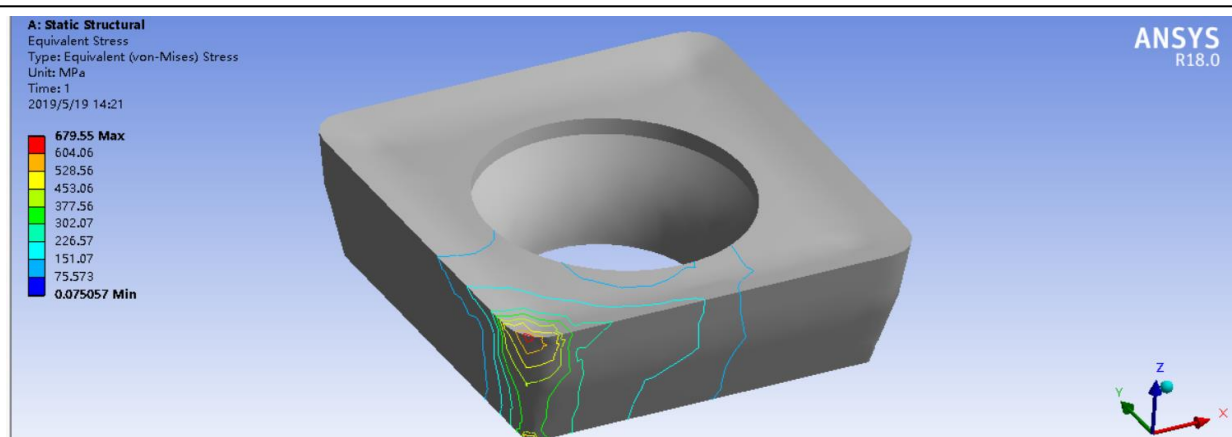
2) в конце контакта зуба фрезы с заготовкой, когда толщина среза a_i максимальна:

$$a_{max} \approx 2 \cdot s_z \cdot \sqrt{\frac{t}{d_{фр}} - \left(\frac{t}{d_{фр}}\right)^2} \text{ (мм)},$$

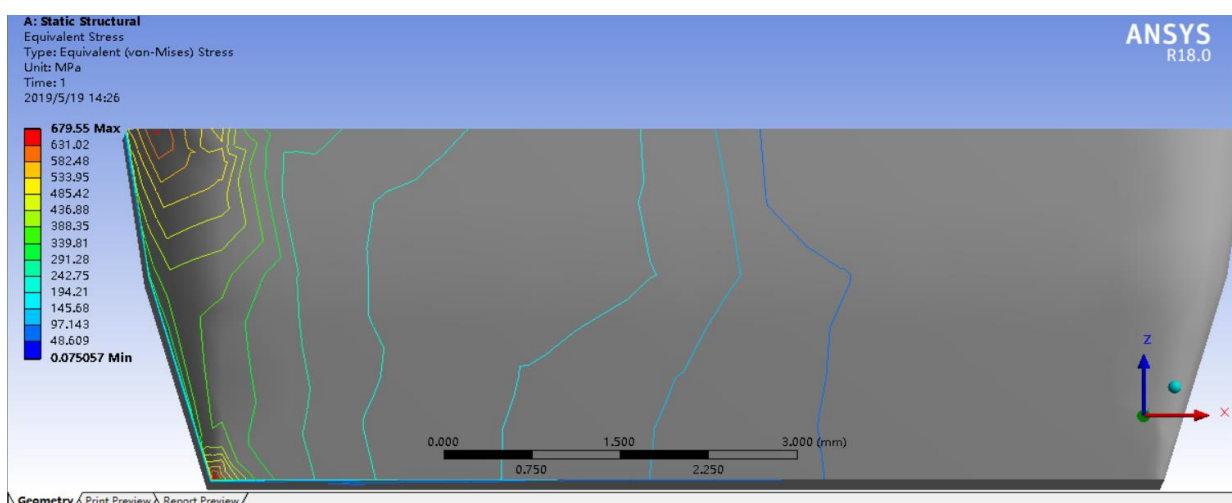
где s_z – подача на зуб (мм/зуб); t – глубина фрезерования (мм); $d_{фр}$ – диаметр фрезы (мм).

3) в момент выхода зуба из контакта с заготовкой, когда после большой нагрузки на зуб происходит его резкая разгрузка, что может стать причиной выкрашивания твёрдосплавной пластины (вместо сжатия появляются растягивающие напряжения, сопоставимые с сжимающими перед выходом из контакта).

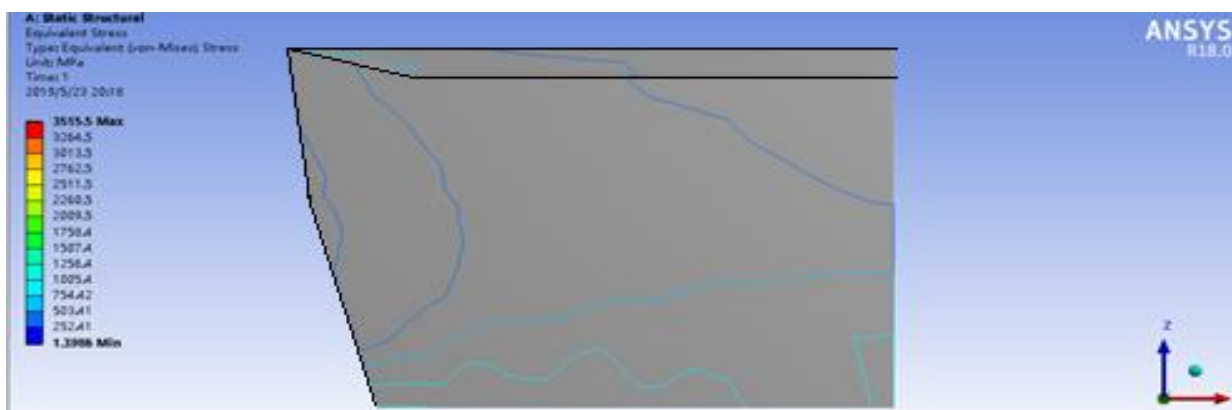
Наиболее опасное положение, на наш взгляд, при врезании зуба фрезы. Поэтому был выполнен расчёт НДС зуба фрезы в момент врезания (рис. 4.6 – 4.8).



a)



б)



в)

Рисунок 4.6 – Распределение эквивалентных напряжений (МПа) в области вершины СМП (а), в сечении вдоль режущей кромки (б) и в главной секущей плоскости (в) при врезании в заготовку из Д16. Д16 - ТТ20К9, $v = 200$ м/мин, $t = 3$ мм, $s_z = 0,20$ мм/зуб

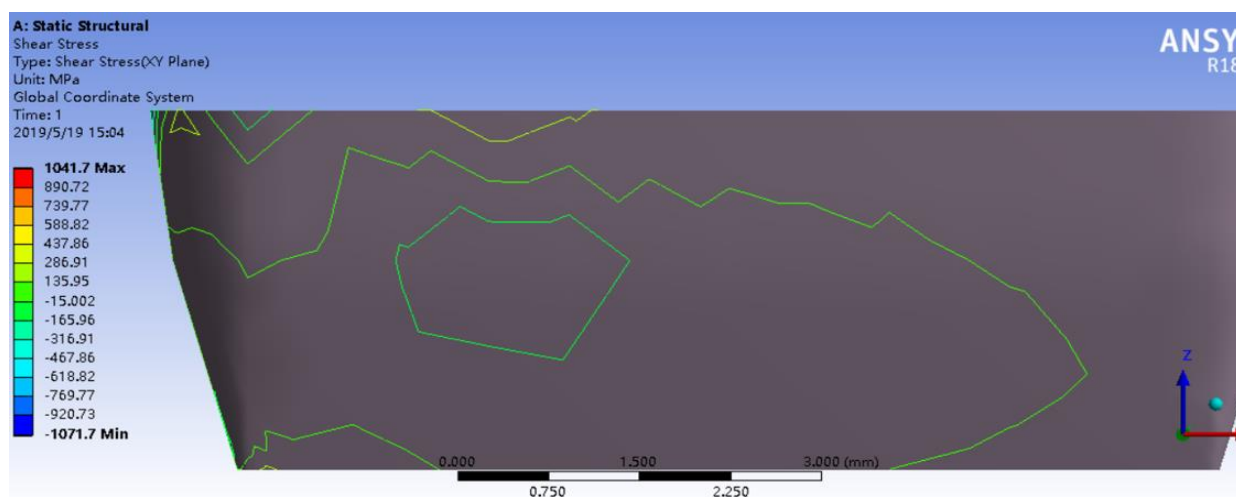
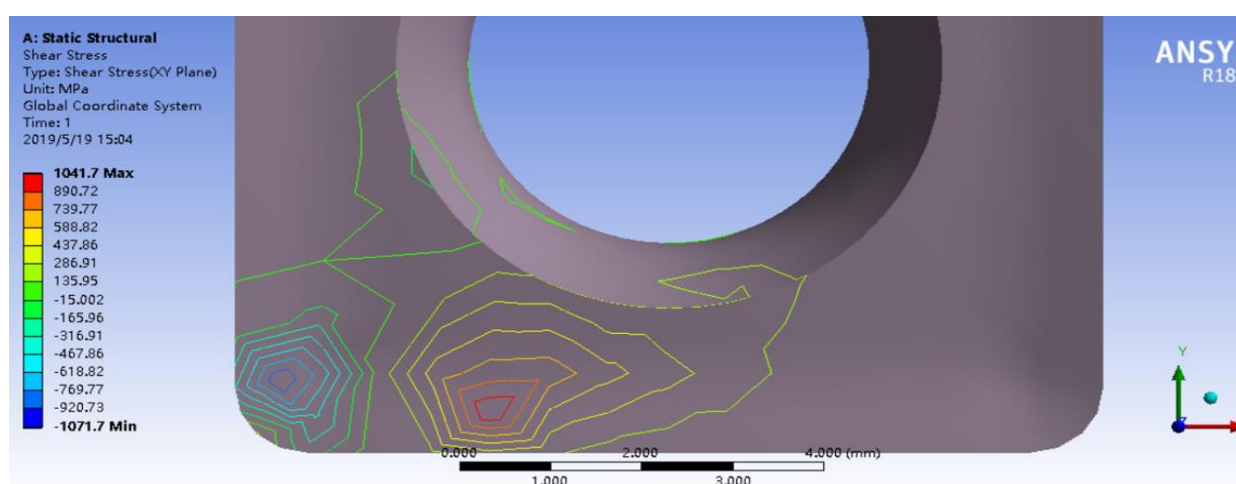
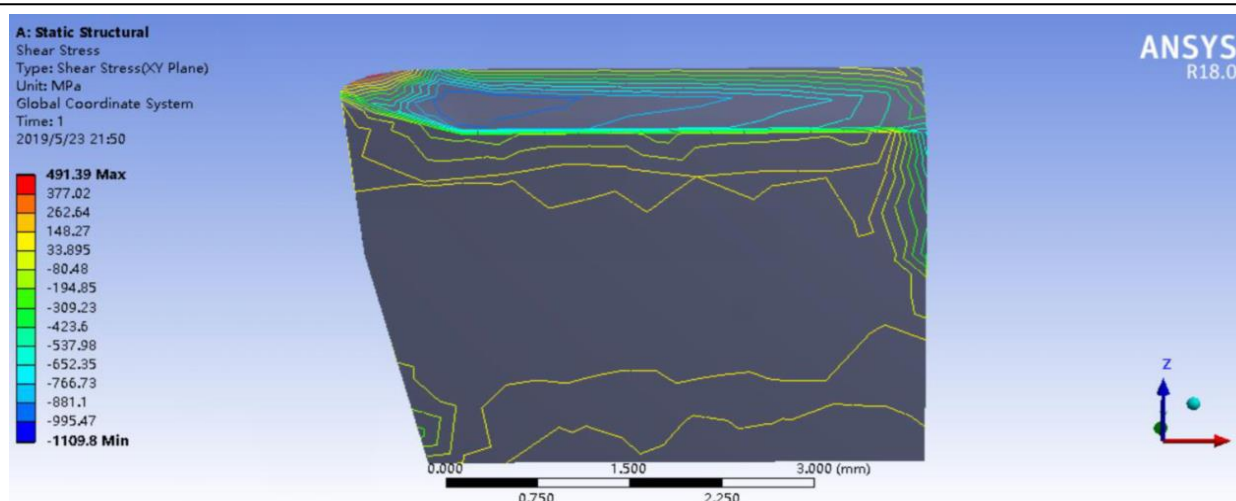


Рисунок 4.7 – Распределение касательных напряжений (МПа) в СМП SDCT 090308A1 с при врезании в заготовку из Д16. Д16 - ТТ20К9, $v = 200\text{ м/мин}$, $t = 3\text{ мм}$, $s_z = 0,20\text{ мм/зуб}$

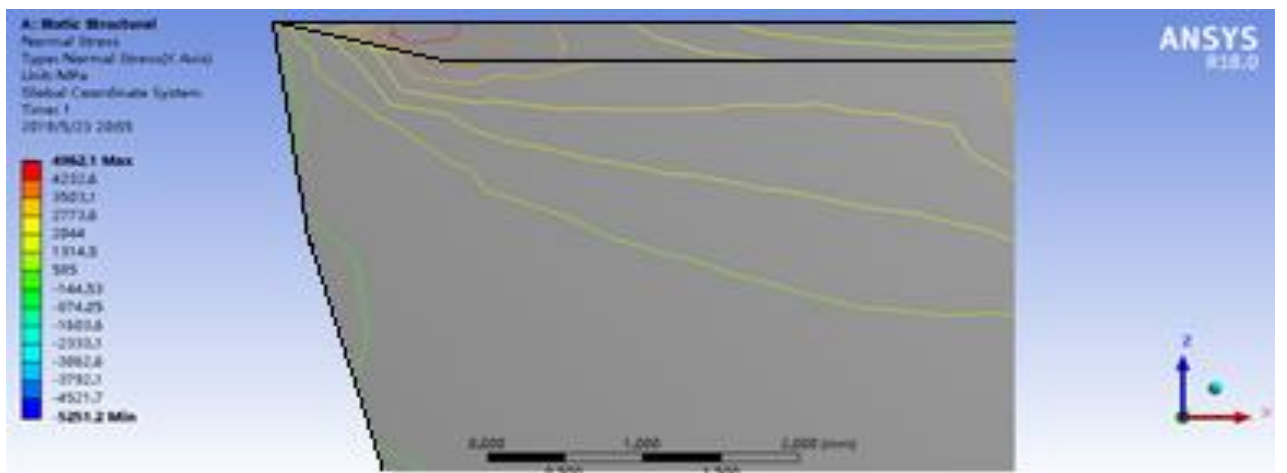
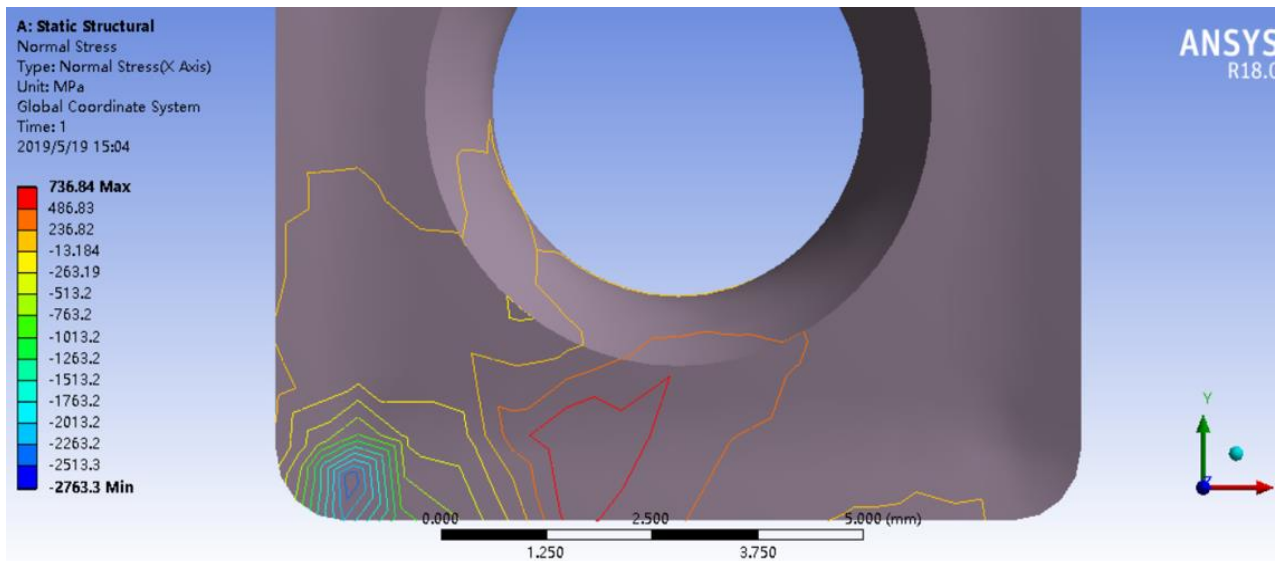
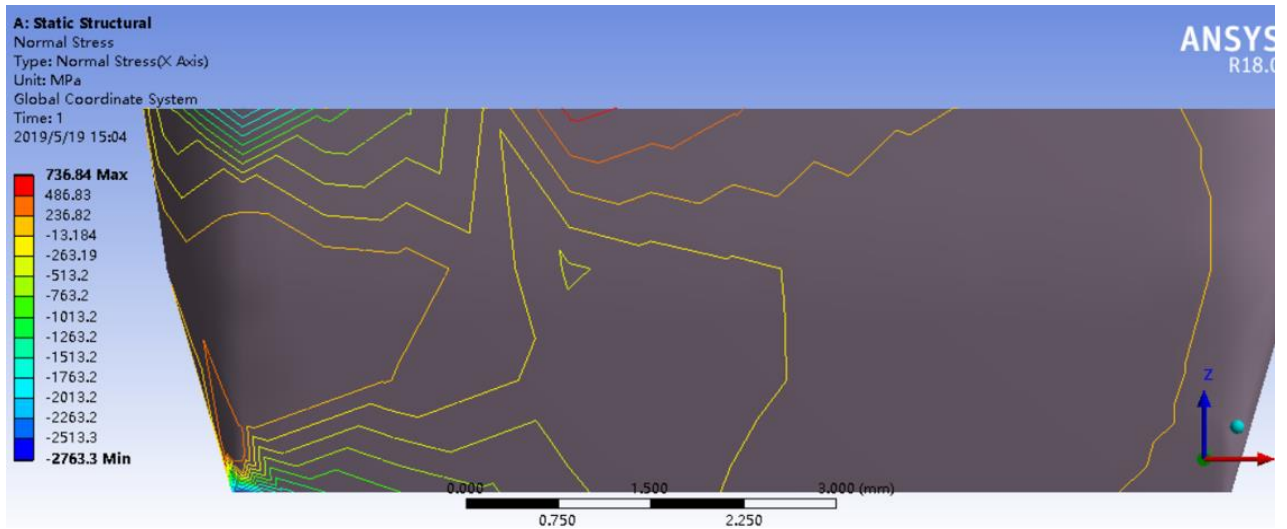


Рисунок 4.8 – Распределение нормальных напряжений (МПа) в СМП SDCT 090308A1 при врезании в заготовку из Д16. Материал СМП - ТТ20К9, $v=200\text{ м/мин}$, $t=3\text{ мм}$, $s_z=0,20\text{ мм/зуб}$.

Анализ НДС режущей пластины показывает, что при обработке алюминиевого сплава Д16 наибольшие нормальные напряжения находятся на расстоянии 1,25 мм от главной режущей кромки и вершины СМП, и это напряжения сжатия (рисунок 4.8). Наибольшая величина $\sigma_{x \max} = -2260$ МПа на расстоянии 0,5 мм от главной режущей кромки, т.е. в области завершения контакта стружки с передней поверхностью.

На расстоянии 3 мм от вершины СМП начинается область растягивающих напряжений. Хотя наибольшая их величина $\sigma_{x \max}$ не превышает -736 МПа, они могут представлять опасность, т.к. твёрдые сплавы плохо выдерживают растягивающее напряжение (для сплава ТТ20К9 $\sigma_{-B} = 650$ МПа), тому же они находятся непосредственно на поверхности. Благоприятным фактом является то, что эти наибольшие растягивающие напряжения занимают очень незначительную область – несколько десятых долей миллиметра. На глубине около 0,5 мм растягивающие напряжения уменьшаются уже до $\sigma_x = -436$ МПа. Тем не менее, наличие повышенной шероховатости может послужить концентратором напряжений и вызвать развития трещины.

Полирование передней поверхности помимо уменьшения прилипания стружки уменьшает вероятность появления концентраторов напряжений. Применение износостойких покрытий также препятствует возникновению зон с повышенными внутренними напряжениями.

На опорной поверхности СМП находится зона с большой величиной нормальных сжимающих напряжений ($\sigma_{x \max} = -2260$ МПа, рис. 4.8). Это объясняет появление сколов и выкрашивания на нижней опорной поверхности СМП. Неблагоприятным фактором здесь является то, что в этой зоне температура СМП не превышает 100 °С, а значит

материал режущей пластины находится в более хрупком состоянии по сравнению с зоной контакта со стружкой и заготовкой.

Непонятным для нас является небольшие эквивалентные напряжения ($\sigma_{\text{экв max}} = 679 \text{ МПа}$) указанных на рисунке 4.6, хотя обычно они существенно больше нормальных напряжений. Но эти наибольшие эквивалентные напряжения находятся непосредственно на режущей кромке и могут вызвать её выкрашивание, особенно с учётом усталости материала СМП.

Заключение

В магистерской диссертации было рассмотрено применение сменной многогранной твердосплавной пластины SDCT 090308A1. Данная твердосплавная пластина была спроектирована в промышленной компании ООО «ПК МИОН». Заготовка режущей пластины была изготовлена из марки твердого сплава ТТ20К9 по заказу «Кировградского завода твердых сплавов». Производились чистовые операции СМП: шлифовальные и полировальные. По режимам резания торцевой насадной фрезы для обработки алюминия и алюминиевых сплавов №217, изготавливаемой промышленной компанией ООО «ПК МИОН», со сменными многогранными пластинами AOKX 180604 FR-F, производились вычисления оптимальной скорости резания, нахождения периода стойкости, расчет производительности обработки, расчеты на затраты инструмента, затраты на обработку и суммарных затрат. Были построены графики кривых скоростей резания при обработке заготовки из алюминиевого сплава Д16, по которому была определена оптимальная скорость резания $V = 163$ м/мин и стойкость $T = 60$ мин. Вручную построен график зависимости периода стойкости и скорости резания при обработке алюминиевого деформируемого сплава Д16, на котором отображаются производительность обработки Pr , затраты на обработку C_o , затраты на инструмент C_u и суммарные затраты. Из графика и табличных значений видно, что при скорости резания $V = 200$ м/мин, период стойкости будет иметь значение 30 минут, при котором достигается максимальная производительность обработки. Минимальные затраты на инструмент достигаются при $V = 75$ м/мин, минимальные суммарные затраты на обработку при $V = 115$ м/мин.

Были проведены исследование силовых процессов резания: по тем же режимам резания, были рассчитаны технологические составляющие сил резания P_z , где при оптимальной скорости $V=163\text{ м/мин}$ и стойкости резания $T=60\text{ мин}$, величина P_z составляет $14,23\text{ Н}$. Рассчитанная максимально-допустимая удельная мощность резания при такой технологической составляющей силе резания и оптимальной скорости резания $V= 163 \text{ м/мин}$ составила $A_w=1,030 \text{ кВт/мм}^2$. Были построены графики: зависимость удельной мощности резания от изменения глубины резания t , при обработке алюминиевого деформируемого сплава Д16, указанной на рисунке 3.5.1 и зависимость удельной мощности резания от изменения скорости подачи s , при обработке алюминиевого деформируемого сплава Д16, расположенной на рисунке 3.5.2.

Была спроектирована 3D-модель сменной многогранной пластины SDCT 090308A1 с помощью программного обеспечения «КОМПАС 3D».

Был произведен подробный анализ напряженно-деформируемого состояния режущего клина сменной многогранной пластины, при встречной схеме фрезерования алюминиевого сплава Д16. Анализ НДС показал, что при врезании в заготовку в начальный момент времени, режущий клин СМП испытывает большие величины напряжения сжатия, на расстоянии $0,5 \text{ мм}$ от режущей кромки $\sigma_{x \max} = -2260 \text{ МПа}$. Но на расстоянии 3 мм , на передней поверхности появляются области растягивающих напряжений, максимальная величина которых выше допустимой нормы, из-за чего может проявляться износ твердосплавной пластины в виде выкрашивания. На опорной поверхности СМП находится зона с большой величиной нормальных сжимающих напряжений ($\sigma_{x \max} = -2260 \text{ МПа}$, рис. 4.8). Возможное появление сколов

и выкрашивания на нижней опорной поверхности СМП также может объясняться большой величиной нормальных сжимающих напряжений ($\sigma_{x \max} = -2260$ МПа, рисунок 4.8). Данный анализ напряженно-деформируемого состояния сменной многогранной пластины SDCT 090308A1 говорит о том, что алюминиевые деформируемые сплавы с высокой прочностью не рекомендуется обрабатывать попутным фрезерованием со скоростью резания выше 200м/мин.

Высокая шероховатость на передней поверхности СМП, возникшая после спекания заготовки, может повлечь за собой наростообразование при обработке алюминиевого сплава, а также может служить концентратором напряжений, из-за чего могут появиться трещины при резании материала. Это подтверждает, что наличие полировальной и шлифовальной операции крайне необходимы, перед использованием СМП.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Попов Антон Андреевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): <i>материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Альтернативы проведения НИ 2. График проведения и бюджет НИ 3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к. э. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Попов Антон Андреевич		

Введение

В данной работе представлены исследования сменной многогранной пластины (СМП) SDCT 090308A1 для обработки алюминия и алюминиевых сплавов, которая непосредственно будет использоваться в торцовой фрезе. Приведены конструкторские чертежи заготовки (с припуском под шлифовку) и чистового варианта СМП. Приведены экспериментальные данные на стойкостные характеристики, определены оптимальные режимы резания. В работе были определены необходимые экономические параметры, такие как: производительность обработки, затраты на обработку, затраты на инструмент. Так же было исследование на силовые процессы резания: были рассчитаны составляющие силы резания P_z и удельная мощность резания A_w . Была спроектирована 3D-модель сменной многогранной пластины SDCT 090308A1 с помощью программного обеспечения «KOMPAS 3D», а также расчет напряженно-деформируемого состояния с помощью программного обеспечения «ANSYS», с помощью которых определили прочностные свойства при установившемся врезании в заготовку. Исследования подтвердили критерий обрабатываемости алюминия и его сплавов: малые и очень высокие скорости резания приводят к увеличению шероховатости обработанной поверхности, что связано с прилипанием стружки к передней поверхности режущей пластины. В процессе исследования использовался токарный станок 16K20 для проведения экспериментов, трехкомпонентный токарный динамометр, для вычисления составляющих сил резания, а так же программа «ANSYS», для расчета контактных напряжений в режущем клине. Данные позволят учитывать оптимальные режимы резания для фрезерования алюминиевых сплавов, тем самым получать более точные изделия в машиностроении.

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно-технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составлен полный перечень проводимых работ, определены их исполнители и рациональная продолжительность.

Таблица 1

Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 70% И – 50%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100%

		И – 40%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор СМП	НР, И	НР – 20% И – 100%
Определение станка и способы (варианты) исследования	НР, И	НР – 70% И – 100%
Шлифование СМП до готовности. Реализация объекта исследования	Ст И	Ст – 100% И – 40%
Получение первых экспериментальных данных	И НР	И – 100% НР – 40%
Получение вторых экспериментальных данных	И НР	И – 100% НР – 40%
Получение третьих экспериментальных данных	И НР	И – 100% НР – 40%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Где, НР- Научный руководитель проекта; И – исполнитель; Ст – станочник.

Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- 1) технико-экономическим;
- 2) опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- 1) аналоговый;
- 2) экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя НИР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности

работ $t_{ож}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (1-a)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{\min} + 4 \cdot t_{\text{prob}} + t_{\max}}{6} \quad (1-б)$$

где t_{\min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{\max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель;
- Станочник – рабочий, который выполняет работу непосредственно на самом станке.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.; $K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности,

возможно $K_{\text{вн}} = 1$; $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{\text{д}} = 1\text{--}1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{кд}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях; $T_{\text{к}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} \quad (4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни ($T_{\text{кал}} = 365$); $T_{\text{вд}}$ – выходные дни ($T_{\text{вд}} = 52$); $T_{\text{пд}}$ – праздничные дни ($T_{\text{пд}} = 10$).

$$T_{\text{к}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 2 определены продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.


























Таблица 2

Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.					
					$T_{РД}$			$T_{КД}$		
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	СТ	НР	И	СТ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	7	4	4,8	-	-	6,72	-	-
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2	3	2,4	2,016	1,44	-	2,822	2,016	-
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	4	8	5,6	1,344	6,72	-	1,8816	9,408	-
Разработка календарного плана	НР, И	2	5	3,2	3,84	1,536	-	5,376	2,15	-
Обсуждение литературы	НР, И	2	4	2,8	1,008	3,36	-	1,4112	4,704	-
Выбор СМП	НР, И	1	2	1,4	0,336	1,68	-	0,4704	2,352	-

Определение станка и способы (варианты) исследования	НР, И	1	2	1,4	1,176	1,68	-	1,6464	2,352	-
Шлифование СМП до готовности. Реализация объекта исследования	Ст, И	1	3	1,8	-	0,864	2,16	-	1,041	2,602
Получение первых экспериментальных данных	НР, И	1	2	1,4	0,672	1,68	-	0,9408	2,352	-
Получение вторых экспериментальных данных	НР, И	1	2	1,4	0,672	1,68	-	0,9408	2,352	-
Получение третьих экспериментальных данных	НР, И	1	2	1,4	0,672	1,68	-	0,9408	2,352	-
Оформление расчетно- пояснительной записки	И	7	14	9,8	-	11,76	-	-	16,464	-
Оформление графического материала	И	3	7	4,6	-	5,52	-	-	7,728	-
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,464	7,44	-	6,2496	10,416	-
Итого:				47,4	21	47,04	2,16	29,4	65,687	2,602

Таблица 3 *Линейный график работ*

Этап	Н	И	СТ	март			апрель			май			июнь	
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	6,72	-	-											
2	2,822	2,016	-	 										
3	1,8816	9,408	-		 									
4	5,376	2,1504	-			 								
5	1,4112	4,704	-			 								
6	0,4704	2,352	-				 							
7	1,6464	2,352	-				 							
8	-	11,29	28,224				 							
9	0,9408	2,352	-					 						
10	0,9408	2,352	-					 						
11	0,9408	2,352	-					 						
12	-	16,464	-											
13	-	7,728	-											
14	6,2496	10,416	-								 			

 - НР (Научный руководитель)  - И (исполнитель)  - СТ (станочник)

Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- 1) материалы и покупные изделия;
- 2) заработная плата;
- 3) социальный налог;
- 4) расходы на электроэнергию (без освещения);
- 5) амортизационные отчисления;
- 6) командировочные расходы;
- 7) оплата услуг связи;
- 8) арендная плата за пользование имуществом;
- 9) прочие услуги (сторонних организаций);
- 10) прочие (накладные расходы) расходы.

Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю.

Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это $5 \div 20 \%$. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в указанных границах в табл. 4.

Таблица 4

Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Заготовки сменных многогранных пластин	300	7 шт.	2100
Шлифовальный круг для шлифования СМП	7000	1 шт.	7000
Полировальная смесь для полирования по передней поверхности	8000р за 10 литров	30 литров	24000
Алюминиевый круг АК8 80x350	150р/кг	4,22кг	633
Бумага для принтера формата А4	190	1 уп.	190
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Итого:			35473

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 35473 * 1,05 = 37246,65$ руб.

Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной

заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Оклад инженера принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации в организации, где исполнитель проходил преддипломную практику.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = МО/25,083 \quad (6)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 5 Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб./дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	35000	1395,37	21	1,699	49 785,40
И	25000	996,69	47	1,62	75 887,97
СТ	54000	2152,85	2	1,699	7 315,38
Итого:					132 988,75

Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3$. Итак, в нашем случае $C_{\text{соц.}} = 132\,988,75 \cdot 0,3 = 39\,896,62$ руб.

Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (7)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час; $t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{\text{э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС). Для ООО «ПК МИОН» $Ц_{\text{э}} = 4,34$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (8)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$, определяется исполнителем самостоятельно

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_C \quad (9)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт; $K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 6.

Таблица 6 Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $\Delta_{\text{ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	376,32*0,8	0,3	519,14
Шлифовальный станок «studer»	25,92*1	7,5	843,69
Токарный станок 1К62 ТПУ	376,32*0,2	3,6	1 557,42
Струйный принтер	30	0,1	17,24
Итого:			2 937,49

Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{\text{АМ}} = \frac{N_{\text{А}} * C_{\text{ОБ}} * t_{\text{рф}} * n}{F_{\text{д}}}, \quad (10)$$

где $N_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации единицы оборудования; $C_{\text{ОБ}}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы

соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку $C_{ам}$. Например, для ПК в 2015 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) можно принять $F_d = 298 * 8 = 2384$ часа; $t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта; n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

В таблице 7 приведены амортизационные расходы.

Таблица 7 – Расчет амортизационных расходов.

Наименование оборудования	Стоимость $C_{об}$, руб.	Время работы оборудования $t_{рф}$, час	N_A	F_d	Амортизационные расходы $C_{ам}$ =, руб.
Персональный компьютер	30 000	301,05	0,4	2384	1 515,35
Шлифовальный станок «studer»	4 170 000	25,91	0,1	4380	2 466,77
Токарный станок 1K62 ТПУ	510 000	75,26	0,2	447	17 173,42
Струйный принтер	12 000	30	0,4	500	288
Итого					21 443,54

Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.:

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1$$

В этом случае:

$$C_{\text{проч.}} = (35473 + 132988,75 + 39896,62 + 2937,49 + 21443,54) \cdot 0,1 = \\ = 23273,94 \text{ руб.}$$

Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели принципов КТ».

Таблица 8 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	35 473
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	132 988,75
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	39 896,62
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	2 937,49
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	21 443,54
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	23 273,94
Итого:		256 013,34

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 256\,013,34$ руб.

Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Прибыль следует принять в размере $5 \div 20 \%$ от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 51 202,66 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(256\,013,34 + 51\,202,66) * 0,2 = 61\,443,2$ руб.

Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае: $C_{\text{НИР(КР)}} = 368\,659,2$ руб.

Оценка экономической эффективности проекта

Так как исследование не является до конца изученным, оценка экономической эффективности невозможна.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ71	Попов Антон Андреевич

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование стойкости фрез и качества обработанной поверхности при обработке алюминиевых сплавов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования является сменная многогранная пластина SDCT 150308Al, которая будет использоваться в торцовой фрезе для обработки алюминиевых сплавов в машиностроении. Исследования проводились в цехе промышленной компании ООО «ПК МИОН».
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);
2. Производственная безопасность:	1) Отклонение показателей микроклимата; 2) Превышение уровня шума; 3) Электромагнитные поля 4) Недостаточная освещенность рабочей зоны; 5) Вредные вещества. 7) Факторы, связанные с электрическим током; 6) Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;
3. Экологическая безопасность:	1) Способы фильтрации смазочно-охлаждающей жидкости; 2) Способы утилизации отходов
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС на производстве: 1) Природного характера - воздействие низких температур 2) Техногенного характера - диверсия

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Попов Антон Андреевич		

Введение

В данной работе представлены исследования сменной многогранной пластины (СМП) SDCT 090308A1 для обработки алюминия и алюминиевых сплавов, которая непосредственно будет использоваться в торцовой фрезе. Приведены конструкторские чертежи заготовки (с припуском под шлифовку) и чистового варианта СМП. Приведены экспериментальные данные на стойкостные характеристики, определены оптимальные режимы резания. В работе были определены необходимые экономические параметры, такие как: производительность обработки, затраты на обработку, затраты на инструмент. Так же было исследование на силовые процессы резания: были рассчитаны составляющие силы резания P_z и удельная мощность резания A_w . Была спроектирована 3D-модель сменной многогранной пластины SDCT 090308A1 с помощью программного обеспечения «КОМПАС 3D», а также расчет напряженно-деформируемого состояния с помощью программного обеспечения «ANSYS», с помощью которых определили прочностные свойства при установившемся врезании в заготовку. Исследования подтвердили критерий обрабатываемости алюминия и его сплавов: малые и очень высокие скорости резания приводят к увеличению шероховатости обработанной поверхности, что связано с прилипанием стружки к передней поверхности режущей пластины. В процессе исследования использовался токарный станок 16K20 для проведения экспериментов, трехкомпонентный токарный динамометр, для вычисления составляющих сил резания, а так же программа «ANSYS», для расчета контактных напряжений в режущем клине.

Данные позволяют учитывать оптимальные режимы резания для фрезерования алюминиевых сплавов, тем самым получать более точные изделия в машиностроении.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для рабочих должны проводиться мероприятия по вопросам обеспечения безопасного труда. В систему таких мероприятий должны входить:

- постоянное совершенствование технологических процессов и оборудования с целью устранить и предотвратить возможность появления производственных вредностей;
- переход от ручной работы к механизированной;
- безусловное соблюдение технологических режимов, строгий контроль за их исполнением;
- знание и соблюдение техники безопасности;
- безусловное соблюдение режимов труда и отдыха, правильная организация рабочего места;
- постоянный контроль за состоянием воздушной среды производственных помещений (соблюдение норм предельно допустимого количества абразива в воздухе и паров химических веществ);
- регулярные медицинские осмотры;
- соблюдение требований безопасности труда к освещенности помещения, отоплению, вентиляции (система вытяжной вентиляции), кондиционированию воздуха;
- соблюдение норм допустимой концентрации вредных веществ в воздухе;
- доступ к системе водоснабжения, сан.узлу;
- регламентированные перерывы в работе на обед и на отдых;
- оборудованное помещение для отдыха работников, оснащенное необходимой мебелью (стулья, кресла, столы, холодильник, микроволновая печь, электрический чайник);
- доступ к питьевой воде.

- обустройство рабочего места должно учитывать антропометрические, физические и психологические особенности сотрудников, а также направление производственной деятельности;
- все объекты, необходимые работнику в процессе профессиональной деятельности, должны находиться в пределах досягаемости;
- те объекты, которые используются работником часто, должны находиться в зоне легкой досягаемости и т.д.

Производственная безопасность

В данном пункте проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Раз- рабо- тка	Изго- товле- ние	Эксплу- атация	
1)Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Требования к микроклимату в производственных условиях устанавливаются ГОСТ 12.1.005-88 [18] и СанПиН 2.2.4.548-96 [19].
2)Превышение уровня шума	+	+	+	Требования к ПДУ (предельно допустимый уровень) шума, ограничиваются ГОСТ 12.1.003-2015 [17] и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 [20].
3)Электромагнитные поля	+	+	+	Требования к безопасности от электромагнитного излучения ГОСТ 12.4.154-85 [21] и СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 [22].
4)Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 [23]. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [24].
5)Вредные вещества	-	+	+	Требования к предельно допустимой

				концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе, регламентированы ГН 2.2.5.1313-03 [25].
6) Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током.	-	+	+	Требования к электрической безопасности регламентированы ГОСТ Р 12.1.019-2009 [26]
7) Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;	-	+	+	Требования к безопасности регламентированы ТОИ Р-15-050-97 [27]. Общие технические условия ГОСТ 7599-82 [28].

Анализ опасных и вредных производственных факторов

Отклонения показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\phi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная

влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 2.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 2.

Таблица 2 – Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1
Теплый	средняя	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

Превышение уровня шума

Источником шума в рассматриваемом рабочем пространстве является токарный станок 16K20 и другое находящееся в данном цеху оборудование.

Повышенный уровень шума на рабочем месте вызывает у человека головную боль, головокружение, может привести к заболеванию нервной и сердечно-сосудистой системы, к развитию тугоухости, нарушению функций желудочно-кишечного тракта и обменных процессов в организме. В условиях постоянного шума повышается утомляемость, замедляется скорость психических реакций, ухудшается память. Нарушается компенсация внимания, точность и координированность движений, ухудшается восприятие звуковых и световых сигналов опасности, что ведет к увеличению травматизма.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-2014 [17] и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 [20]. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 60 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть Средства комплексной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты (СИЗ).

СКЗ:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования, путем изменения режимов резания;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения, например автоматические двери на станках с ЧПУ;
- применение смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), снижающую шум и вибрацию на пути их распространения;
- использование специальных материалов, например, мягкие материалы для изоляции. Их основу составляет вата, стекловата, войлок либо джут. Коэффициент поглощения – 70 %.

СИЗ:

- применение спецодежды, спец. обуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

В нашем случае, применялась смазочно-охлаждающая жидкость, которая предотвращала образование повышенного уровня шума в цеху, а также корректирование режимов резания (изменение продольной подачи станка), изменения которых не оказывали влияние на исследования.

Электромагнитные поля

В производственном цехе используются электроприборы, которые создают электромагнитные поля, например информационные экраны станков с ЧПУ и автоматических измерительных установок, которые также присутствуют в цехе.

Таким образом, при организации безопасности труда, необходимо учитывать воздействие электромагнитных полей на организм человека.

Основным источником неблагоприятных воздействий на организм является видеодисплейный терминал (ВДТ), который также называют дисплеем или монитором.

Для предотвращения неблагоприятного влияния на здоровье человека вредных факторов производственной среды и трудового процесса при работе с ПЭВМ необходимо руководствоваться Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормами: "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" [29], разработанными в соответствии с Федеральным законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" [30] и "Положением о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании" [31].

Мощность экспозиционной дозы мягкого рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса ВДТ (на электронно-лучевой трубке) при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать 1 мкЗв/ч (100 мкР/ч).

Конструкция ПЭВМ должна обеспечивать возможность поворота корпуса в горизонтальной и вертикальной плоскости с фиксацией в заданном положении для обеспечения фронтального наблюдения экрана ВДТ. Дизайн

ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4 - 0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики.

Конструкция ВДТ должна предусматривать регулирование яркости и контрастности.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ:

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника в виде гибких полотен из лент аморфных и нанокристаллических магнитомягких сплавов, прошедших специальную термомагнитную обработку;
- защита рабочего места от излучения;

СИЗ:

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.
- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).
- Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154-85 [21].

В нашем случае, защита от электромагнитных полей обеспечивалась безопасным расстоянием и короткими промежутками времени.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Согласно СНиП 23-05-95* [23] на производственном цехе должно быть не менее 600 Лк. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки не должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

В ходе исследований, не было выявлено слепящей яркости в производственном цеху, которое оказывает влияние на рабочих.

Вредные вещества

Среди химических веществ, выделяющихся при работе на станках, наибольший вред приносят: пылевыведение, сопровождающиеся процессы абразивной обработки металлов (зачистка, полирование, шлифование и др.), а также при работе со смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

В составе современных жидкостей содержатся различные ингибиторы коррозии, противозадирные присадки, гликоль, анионоактивные и неионогенные эмульгаторы, индустриальные и минеральные масла, масляный асидол, едкий натр, бактерицидные препараты (каустическая сода, хлорпарафины и т. д.). Безусловно, такое разнообразие химических веществ,

входящих в состав СОЖ, определяет необходимость постоянного контроля их содержания и условий применения. Нельзя сказать, что за последние два десятилетия на предприятиях машиностроения ничего не сделано в области снижения вредного воздействия охлаждающих эмульсий на организм человека и окружающую среду. Большинство предприятий отказались от использования охлаждающих растворов на основе нитрата натрия, других ядовитых химических веществ. Так же со временем в любой СОЖ бурно развиваются микроорганизмы (бактерии), которые формируют особую дисперсную фазу с размером частиц 0,2—10 мкм. Эти бактерии прогрессируют в водных растворах в форме палочек и кокков. Поскольку прогрессирующее развитие бактерий в среде «масло—вода» приводит к изменению структурно-механических характеристик СОЖ, бактерии, уничтожая органические компоненты, высвобождают из эмульсий масло (диэлектрик). Все это влияет на электропроводность жидкостей, увеличивая ее. Не углубляясь во все тонкости микробиологии, в целом совокупность веществ, входящих в состав водных эмульсий, можно характеризовать и как питательную среду для развития бактерий и грибов.

Согласно гигиеническим нормативам "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны ГН 2.2.5.1313-03", утвержденным Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27 апреля 2003 г [25], силикатная пыль (при содержании абразивных частиц <10%) относится к 3-му классу опасности (3 класс - опасные), величина ПДК = 2 мг/м³, а преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства – смесь паров и аэрозоля. Также вредное вещество, как углеводороды относится к 4-му классу опасности (4 класс – умеренно опасные), величина ПДК = 300 мг/м³, а преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства – смесь паров или газы.

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных

выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократно в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

СИЗ:

- При шлифовании заготовок, в частности заготовок СМП, применяются респираторы, за защиты дыхательных путей от абразивных частиц;
- Мытье рук после контакта со смазочно-охлаждающей жидкости;

СКЗ:

- Над шлифовальными станками установлена приточно-вытяжная вентиляция, для поглощения большего объема абразива в воздухе;
- Проветривание помещения;
- Применение безопасного аналога СОЖ, которое оказывает меньшее влияние на здоровье человека, но при этом никак не влияет на условия резания;
- Защитный кожух на универсальных станках и автоматические двери на станках с ЧПУ не позволяют стружке и эмульсиям попадать на рабочего в ходе работы;

В ходе исследований, станочник применял респираторы, для шлифования СМП, а так же при проведении экспериментов применялся защитный кожух на токарном станке 16K20.

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000В (помещения без повышенной опасности), до 1000В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

Производственный цех относится к помещению с повышенной опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением до 1000В являются диэлектрические перчатки, изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками и указатели напряжения.

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках.

- Дополнительными электрозащитными средствами являются диэлектрические галоши (боты), сапоги, диэлектрические резиновые коврики, дорожки и изолирующие подставки.
- Диэлектрические боты, галоши и сапоги применяют для изоляции человека от основания, на котором он стоит. Боты применяют в электроустановках любого напряжения, а галоши и сапоги — только при напряжении до 1000 В.
- Диэлектрические коврики и дорожки — это изолирующие основания. Их

применяют в закрытых электроустановках любого напряжения.

- Изолирующие подставки также изолируют человека от грунта или пола. В электроустановках напряжением до 1000В изолирующие подставки выполняют без фарфоровых изоляторов, а выше 1000В — обязательно на фарфоровых изоляторах.

Основными мероприятиями по обеспечению электробезопасности являются:

- 1) изолирование (ограждение) токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- 2) установки защитного заземления;
- 3) наличие общего рубильника;
- 4) своевременный осмотр технического оборудования, изоляции;
- 5) Использование разделительных трансформаторов.

Безопасные номиналы: $U = 12-36\text{В}$, $I = 0,1\text{ А}$, $R_{\text{аз}} = 4\text{ Ом}$.

При проведении экспериментов в исследовательской работе были предоставлены все вышеперечисленные меры предосторожности.

Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы

В цеху применяют передвижную кран-балку для перемещения деталей, изделий, контейнеров со стружкой и прочих тяжелых и объемных предметов. При использовании кран-балки, установлен специальный звуковой сигнал, который оповещает других присутствующих в цеху о задействовании передвижного механизма, а также о своей аккуратности и дальнейшем внимании.

В станках с ЧПУ происходит высокопроизводительная обработка заготовок, соответственно передвижения шпинделей, самих заготовок и прочих составляющих в станках происходит с ускоренной подачей. Для обеспечения безопасности рабочего, в станках с ЧПУ установлены

автоматические двери, которые не позволяют запускать работу при открытом их положении.

Так же к опасным производственным факторам, для оператора станка являются нагрев обрабатываемых поверхностей. В процессе резания металла, он нагревается до высоких температур (200-600°C), большая часть тепла (50-80%) отводится стружкой, однако, при постоянном воздействии шлифовального круга на заготовку, она разогревается до температур, которые при кратковременном воздействии могут причинить вред человеку (ожог).

Во избежание получения термических травм, рекомендуется использовать специальные приспособления для транспортировки только что обработанных деталей, а так же применять смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Основы безопасности и требования при работе с движущимися частями машин приводятся в ГОСТ 7599-82[14].

В ходе исследований, кран-балка не применялась, но было использование смазочно-охлаждающей жидкости при работе на токарном станке, во избежание термических травм.

Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

В производственном цехе необходимо позаботиться о раздельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для стружки, стекла, металлических частей, пластика.

Фильтрация смазочно-охлаждающей жидкости будет производиться путем установки самоочищающегося барабанного фильтра (для очистки СОЖ, чистого масла и водных эмульсий, от магнитных и немагнитных частиц).

Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные газовые обогреватели с катализаторами. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. В случаи обрыва линий электропередач должны быть предусмотрены электрогенераторы, которые и будем использовать для электрообогревателей и другого вида оборудования. Нужно иметь запасы воды для сотрудников и для технических нужд. Заключить договоры с транспортными компаниями, что переложит ответственность в случаи ЧС на них.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве.

Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

Выводы по разделу

При проведении экспериментов и оформлении научной исследовательской работы, безопасность является главной задачей, которую необходимо соблюдать, во избежание вреда организму. Для исследования и получения экспериментальных данных применялась смазочно-охлаждающая жидкость, которая обеспечивала безопасность:

- СОЖ предотвращала образование повышенного уровня шума в цеху, а также корректирование режимов резания (изменение продольной подачи станка), изменения которых не оказывали влияние на исследования.
- СОЖ применялась на токарном станке, для предотвращения дальнейших термических травм.

Для проведения экспериментов и получения экспериментальных данных, были соблюдены:

1) Для защиты от отделяемой горячей алюминиевой стружки:

- Специальная одежда (защитных халат);
- Специальная обувь;
- Защитные очки;

2) Для защиты от факторов электрической природы:

- применялась деревянная подставка (деревянный поддон) у станка, на которой необходимо находиться при работе на станке;

3) Для защиты от шума в цеху:

- Применялись защитные наушники, так как в цеху часто происходит высокопроизводительная обработка других заготовок, что влечет за собой неизбежный шум.

4) Микроклимат на рабочем месте достигался:

- проветриванием помещения;
- работа велась при использовании воздушного кондиционера.

5) Эксперименты велись при качественном освещении, без попадания прямых солнечных лучей.

6) Оформление исследовательской работы было на безопасном расстоянии от монитора через определенные промежутки времени, чтобы не получить вред от электромагнитного излучения.

Чрезвычайных ситуаций в цеху не наблюдались и не было выявлено при проведении экспериментов.

Кроме того, безопасность достигалась личными особенностями характера: вниманием, аккуратностью, добросовестным соблюдением техники безопасности и др.

Приложение А

A study on the implementation of the exchangeable multifaceted cutting plates when machining aluminum alloys.

- *Introduction;*
- *Literature review;*

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ71	Попов Антон Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Козлов Виктор Николаевич	к.т.н.		

Консультант–лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна			

Introduction

As you know, the most important characteristics of aluminum alloys are the lightness of the material, high thermal and electrical conductivity, as well as the corrosion resistance, good machinability cutting, high technological plasticity and large range of varieties of physical, mechanical, anti-friction and many others properties. Due to these qualities, aluminum alloys are widely used in the aviation industry and aircraft as a structural material. Such industries, as automotive, shipbuilding, instrumentation, construction and missile technology are not exception. Currently, such a high range of applicability of aluminum alloys allow them to be one of the most common used materials after steel.

Consequently aluminum alloys are subjected to different requirements as they are used. For example, for the parts experiencing large mechanical loads, high—strength aluminum alloys (structural high—strength alloys based on the Al—Zn-Mg-Cu (aluminum-zinc-magnesium-copper) system are used as a selection for working under compression, tension, torsion and other types of loads., Fatigue resistance of aluminum alloys and durability (for parts experiencing static loads) are the main parameters for the parts operating under cyclic loads. Electrical conductivity, temperature coefficient of electrical resistance and thermal expansion coefficient are important parameters for the electrical industry.

The effectiveness of the used parts made of aluminum and aluminum alloys is influenced not only by the above parameters of these alloys, but also by various modes and cutting parameters that allow obtaining the required surface quality and the required manufacturing accuracy. It is also necessary to take into account the various technological features that allow obtaining the necessary geometry of the manufactured aluminum parts, its hardness, which plays a special role in the application of aluminum parts.

In this thesis the blade machining of aluminum alloys, the test of resistance replaceable multi-faceted plate developed by «PC MION», the research on uniform wear at different cutting conditions determining the optimal cutting conditions

have been studied, the measurement of the components of the cutting forces using a lathe dynamometer have been performed.

It allows for doing a sufficiently in-depth research work for the acquisition with a new patented product «PC MION ».

The **objective** of this work is to find the optimal modes and parameters of cutting aluminum alloy with the help of the study of replaceable multi-faceted plate; to determine the resistance and examine the wear depending on the cutting speed; to conduct a study of the power dependence on the longitudinal turning process; to investigate the effect of cutting temperature on the cutting process.

To achieve this objective, it is necessary to perform a number of tasks:

1) Design and Assembly:

- To design the replaceable multifaceted plates SDCT 090308Al for face mills №240 with the angle 75 ; SDCT 120408Al for face mills №280 with angle 45 ; and 150308Al ZDCT to ZDCT 200408Al face mills №210 with an angle of 90 for processing aluminum and aluminum alloys.
- To design blank plates, calculate allowances for sintering the mold in the "Kirovgrad plant of hard alloys».
- To get the plates in the final form by grinding and polishing operations.
- To design the turning holder under the plate ZDCT 090308Al.
- To assemble the plate with the turning holder to obtain experimental data.

2) Obtaining experimental data and testing replaceable multifaceted plates:

- To experimentally obtain the data on the dependence of the cutting speed V on the tool life T , when turning aluminum alloy.
- To determine the value of the processing capacity of Pr , the cost of the cutting tool si and the cost of processing C at ten values of the cutting speed.
- To plot the dependence of tool life T , processing performance Pr , the cost of cutting tools si and the cost of processing C of the cutting speed.

- According to the graphs, to determine the extreme values of the processing performance Pr_{max} and processing costs C_{min} , the corresponding values of the optimal cutting speeds V_p and V_c , as well as tool life T_p and T_c .

3) Researching the replaceable multifaceted plates on the components of cutting force.

Using a three-component lathe dynamometer:

- To experimentally obtain the dependence of the technological components of the cutting force P_x , P_y , P_z on the cutting depth t .
- To experimentally obtain the dependence of the technological components of the cutting force P_x , P_y , P_z on the feed rate s .
- To experimentally obtain the dependence of the specific cutting power A_w on the cutting depth t .
- To build a graph of the components dependence of the cutting force P_x , P_y , P_z on the depth of cut and feed in logarithmic coordinates. Using the graphs, to determine the magnitude of the constants x and y empirical equation to calculate the components of the cutting force.
- To determine the numerical value of the C_p empirical equation.
- To experimentally obtain the dependence of the technological components on the cutting force P_x , P_y , P_z of the cutting speed V .

4) Studying the replaceable multifaceted plates in surfacing

- To experimentally obtain the dependence of the cutting temperature θ on the cutting speed V .
- To experimentally obtain the dependence of the height of the micro-roughness R_z on the treated surface on the cutting speed V .
- To experimentally obtain the dependence of the shrinkage of ζ chips on the cutting speed.

5) Conclusion.

Literature review

To date, there are many discoveries in the blade machining of aluminum and aluminum alloys, as well as in the design of replaceable multi-faceted plates with the necessary geometry, with the front and rear corners to achieve the required accuracy and surface quality, both in milling and turning.



Figure 1 - end mill with a cylindrical shank and a covered center for processing light alloys in accordance with GOST 16225-81.

The company «PC MION» has a set of tools for processing aluminum and its alloys, in which bigger percent of tools is made of high-speed steel, e.g., example end mills with a cylindrical shank and the blocked center for processing of light alloys which is specified in figure 1 [1].

The only special tool assembly for machining aluminium is №217 face shell

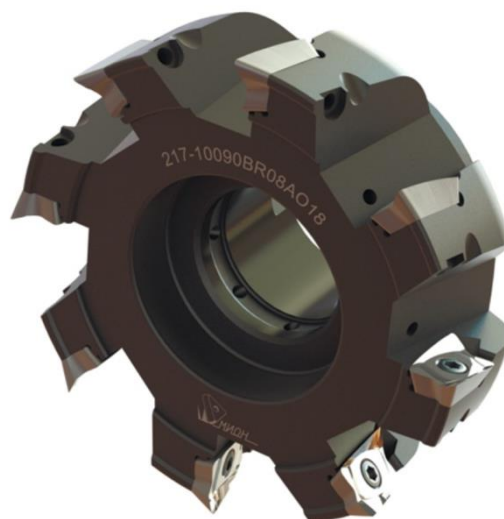


Figure 2- face mill №217 with replaceable multifaceted plates for processing of aluminum and aluminum alloys manufactured in "PC MION".

milling cutter with angle (Figure 2), which uses special replaceable multifaceted plates AOKX 180604 FR-F [1].

The Article [2] deals with a number of studies on the "behavior" of chips when milling aluminum end mill. Surface quality assurance has become a major challenge for researchers in analyzing the reliability of machined parts and structures made of aircraft-grade aluminum alloys in high-speed machining. In this paper, we study the effect of the cutting speed on the surface quality of aluminum blanks 7050-T7451 in face milling. First, 7050-T7451 aluminum blanks were subjected to face milling in dry conditions using three cutting speeds (200, 800, 1400 m/min) with a constant feed (0.20 mm / tooth) and a cutting depth (1 mm). In the end milling tests, a 50 mm diameter nozzle end mill with five interchangeable polyhedral plates was used. During the machining process, cutting forces were obtained using a Kistler dynamometer to understand the effect of mechanical load on the final surface quality. The surface roughness obtained during milling was measured using a portable profilometer. Residual stresses generated by the cutting process were measured by drilling holes. In addition, small samples were cut from the blanks and microstructural changes in the surface layer of the workpiece were analyzed using optical microscopy methods. The results showed that the magnitude of the residual stresses and the thickness of the affected layer sensitive to cutting speed, while the surface roughness and microstructural defects do not show significant differences in experimental conditions.

In the following source [3] the technique for design of the rotating modular tool and design of replaceable many-sided plates is given. The general method for the calculation of the tools geometrical parameters tools with mechanical fastening of replaceable polyhedral plates depending on a way and angles of orientation of a cutting plate in the case is formulated. The problems of the geometric analysis of existing and design of new structures of prefabricated tools are considered. Calculation formulas are given.

The authors of this article [4] conduct a detailed and qualitative study of milling of aluminum body parts. The analysis of the requirements for the body parts of aircraft is made. The questions of face milling in high-speed machining of housing parts made of aluminum alloy 6082 T6. The statistical processing of experimental data for determining values of the main parameters of the cutting conditions (speed, feed to the tooth, width and depth of cut) needed to obtain the most rational values of torque. A mathematical model that allows determining the amount of torque in advance is developed. The requirements for the body parts of aircraft, as well as the questions of face milling in high-speed machining of housing parts made of aluminum alloy 6082 T6 are analyzed. The statistical processing of the experimental data to determine the needed values of the main parameters of cutting conditions (speed, feed to the tooth, width and depth of cut) for obtaining the most rational values of surface roughness. A mathematical model is developed that allows determining in advance the value of surface roughness R_a at end milling (figure 3).

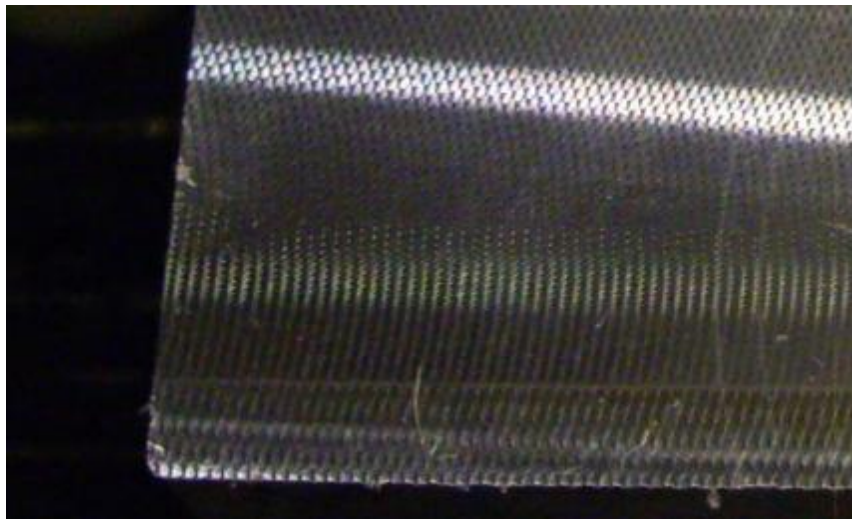


Figure 3 - Surface roughness of aluminum after milling by end mill with replaceable polyhedral plates

Wear of the cutting tool during cutting has a huge impact on the quality of the treated surface, durability and other characteristics. There is a technology to improve the resistance characteristics of hard alloys used in the cutting tool. In one of these works [5], the authors investigate the effect of structural changes on the

properties of the hard alloy T5K10 during the heat treatment. The possibility of changing the wear value of the hard alloy by varying the modes of heat treatment.

1. Peculiarities of aluminium and aluminium alloys cutting

Aluminum and aluminum alloys are easy to cut, but often, the chemical composition, or rather the type of aluminum alloy significantly affects the performance of the material.

The machinability can be expressed in several components: the shape of the chip, the resulting cutting forces, the wear of the cutting tool and the quality of the machined surface [6].

But machinability is changed due to the used equipment, (e.g. drilling, turning or milling, or grinding) cutting modes, geometry and material of the cutting tool.

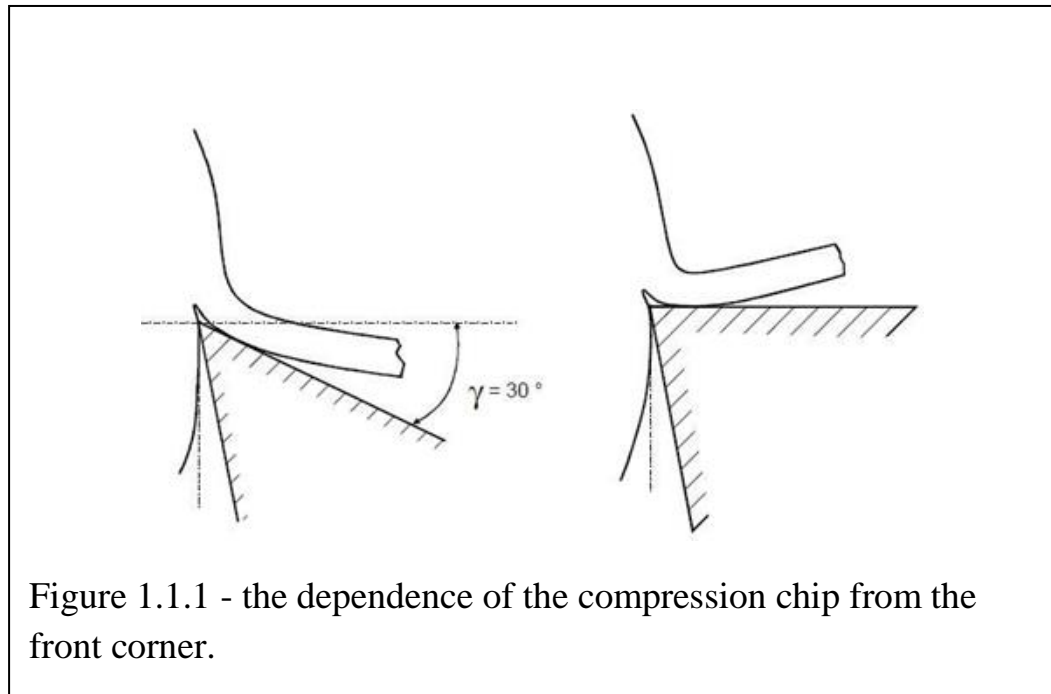
1.1 Criteria for the machinability of aluminium and aluminium alloys

The shape of the chip is the main criterion for aluminum machinability. Basically, it is a continuous chip differing in size and shape. For example, pure aluminum and its soft alloys give a relatively long continuous chip during turning and special measures, such as chipbreaking grooves on the cutting tool, as an option must be taken.

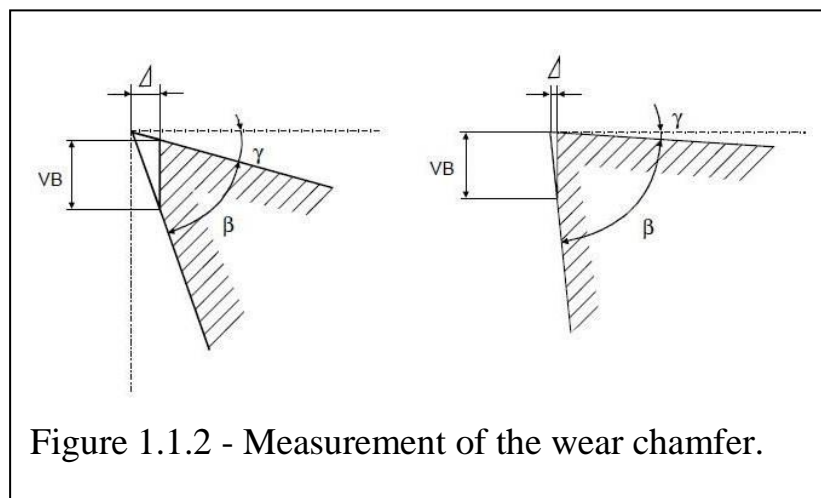
Accordingly, the constructional high-strength aluminum alloys based on Al—Zn—Mg—Cu do not cause such problems when working with continuous chips. But casting aluminum alloys Al—Si, Al—Si—Mg give a short circular or spiral chips in machining. [7]

So, to improve the machinability, such soft metals, as bismuth or lead are added to aluminum alloys contributing to the formation of a short chip example of such an alloy.

The shape and type of the chip is also affected by the geometry of the cutting wedge of the tool: as the front angle of the chip decreases, a shorter offset of the compressive stresses occurs (Figure 1.1.1)



The wear of the cutting wedge of the tool at machining of aluminum occurs by formation of the gradual chamfer of wear (value VB) located on the main back surface (Figure 1.1.2). [8]



The wear on the back surface of the tool depends primarily on the processed material, its microstructure and the temperature in the cutting zone. For the cutting tool equipped with replaceable polyhedral plates, the wear chamfer should not exceed the value more than 0,4 mm (the value of wear on the back surface is specified in technical conditions on the tool) [7]. The presence of the cutting fluid, feed rate and depth of cut significantly affect the tool wear, e.g., the stronger they are reduced, the less tool wear becomes.

The quality of the machined surface of the workpiece is the next criterion for machinability. It depends on several parameters:

- 1) Surface roughness. The height of the micro-roughness scallops and the value are determined based on the movement of the tool and the part.
- 2) Nature of the material behavior, when it is divided by the cutting tool (microstructure features).
- 3) External factors (sharpness of cutting edges, vibration resistance of the system and other)[7].

The following conclusion on the machinability of aluminum and aluminum alloys based on the above parameters can be drawn:

The higher the hardness and strength of the aluminum alloy, the higher the surface quality can be obtained [18].

The exception is casting alloys, the roughness of which depends on the microstructure of the alloy. In this case, the solid particles embedded in the structure of the alloy can break out, and therefore a low surface quality is obtained. [9]

The cutting speed is the last criterion for the aluminium processing.

According to the machinability of aluminum, it is considered that the cutting speed is inversely proportional to the roughness, that is, with a decrease in the cutting speed, the roughness of the treated surface increases.

This is due to the sticking of the cutting edge chips of the tool followed by the removal from the tool, the so-called «surfacing».

The graph (Figure 1.1.3) shows in detail the dependence of the cutting speed on the roughness in the processing of pure aluminum, in which the functions are divided into 4 sections.

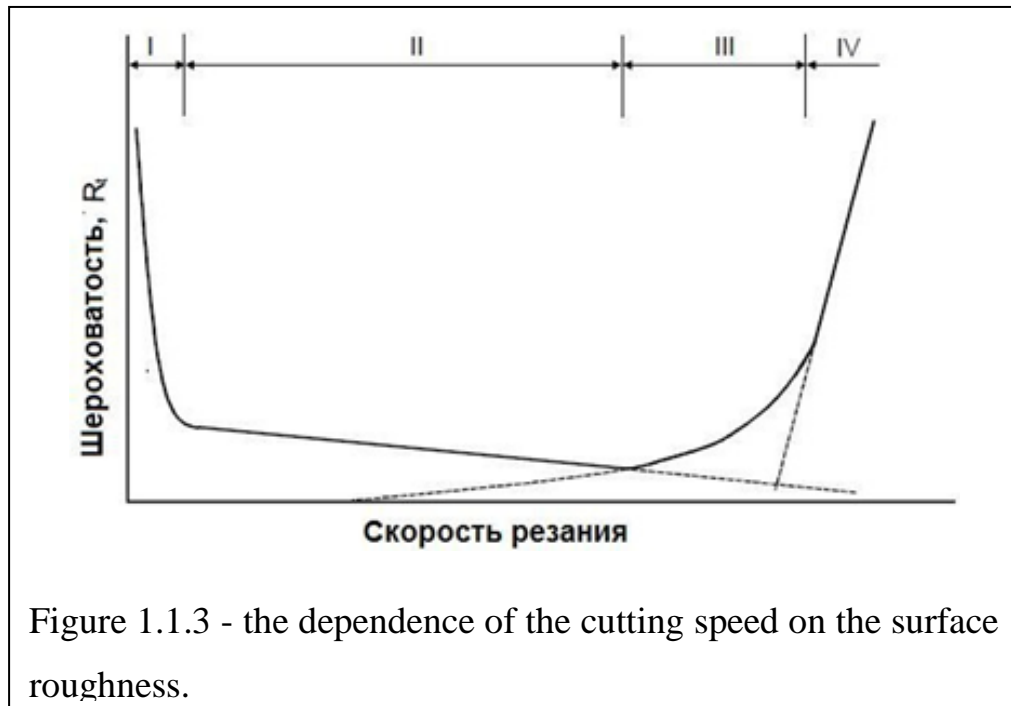


Figure 1.1.3 - the dependence of the cutting speed on the surface roughness.

The graph in figure 1.1.3 shows:

The first zone of workability: the surface quality is unsatisfactory due to the surfacing on the cutting edge of the tool, the material is poorly subjected to cutting and eventually it breaks, therefore, the roughness at low cutting speed greatly increases.

The second zone of workability: the roughness of the treated surface decreases linearly with increasing cutting speed.

The third zone of workability: the increase in the roughness of the treated surface is due to the influence of external factors, e.g. vibration.

The fourth zone of workability: removed chips from the material during machining aluminum are instantly welded to the cutting edge of the tool [10, p 65].

1.4 Production of the replaceable multi-faceted plates for machining aluminum and aluminum alloys

In the industrial company "PCMION" the main percentage of the used replaceable multi-faceted plates are ZDCW and SDCW. Consequently, the tool provision is designed for the overall dimensions of these plates. Given this fact, it is necessary to change some of the geometric parameters of these plates without changing the design of the tool housings.

In the end, a new tool for a new purpose will be developed. The SDCT 090308A1 interchangeable multi-faceted plates have a new shape (Annex 1-4): the plates have a sharp edge; a front angle of 15 degrees, the main rear angle of 8 degrees and the auxiliary rear angle of 16 degrees remains unchanged after sintering. The diameter of the inscribed circle of the replaceable polyhedral plate is $iC=9,525$ mm, the radius at the top $r=0,8$ mm remains unchanged, the thickness of the plate, the screw hole remain the same as those of the catalog plates [11].

After receiving the blanks plates, it is necessary to polish the front surface to "mirror" purity of $Ra=0,05-0,1$ microns to reduce the surfacing in aluminum processing. Polishing of blanks of plates was made in polishing installation in a



Figure 1.4.1 – the process of polishing the front surface of the workpieces of plates in a mixture of silicon carbide with walnut husk.

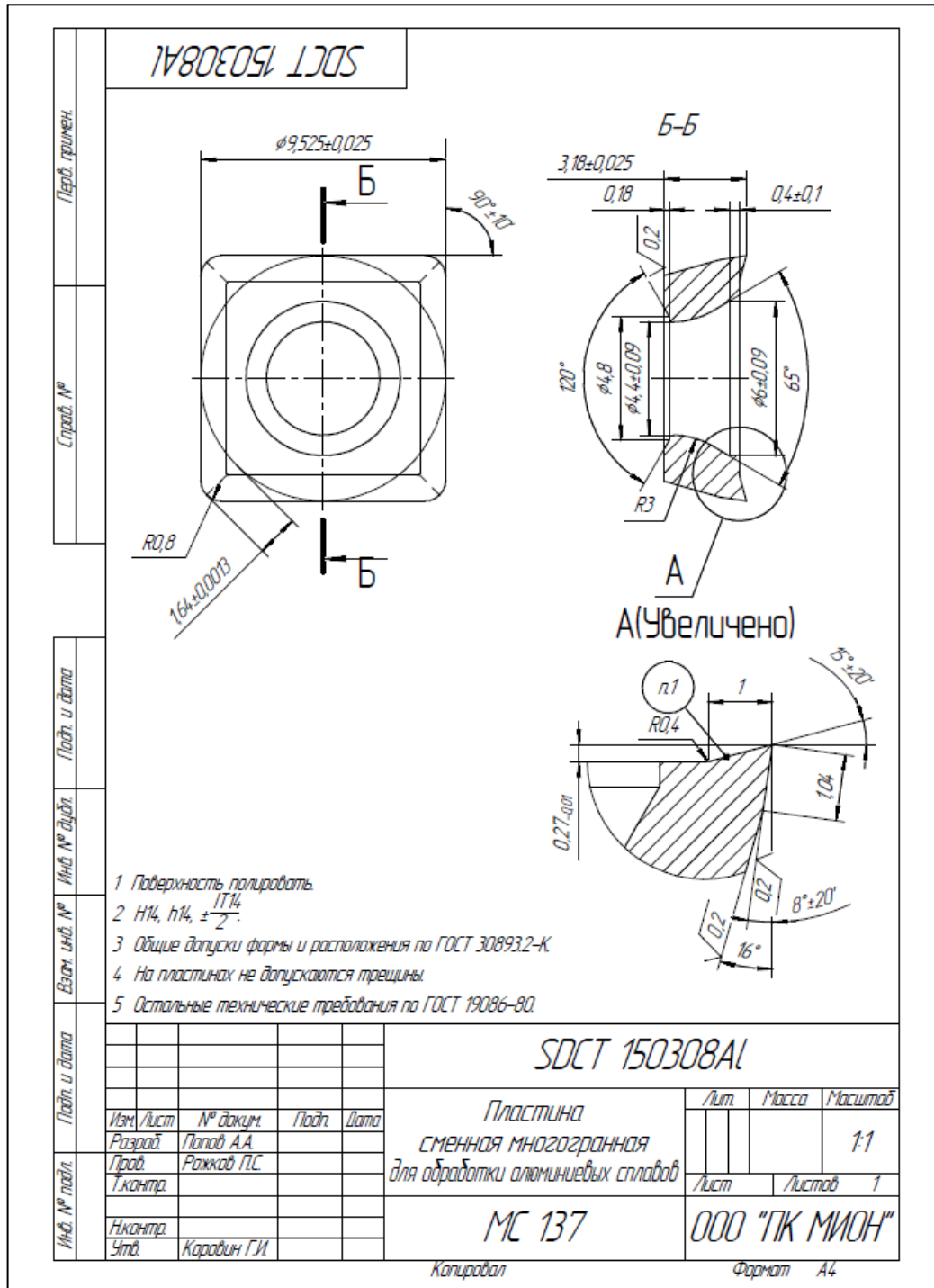


Figure. 1.4.2 – Replaceable polyhedral plate ZDCT 150308A1 after polishing.

mix of silicon carbide with a walnut husk (Figure 1.4.1). After polishing (Figure 1.4.2) of the blanks plate, it is necessary to further grind the support surface, as well as to grind along the perimeter to obtain a sharp cutting edge.

Приложение Б

Конструкторский чертеж сменной многогранной пластины SDCT090308A1



Список используемой литературы

- 1) Каталог режущего инструмента МИОН с.83. (2018)
- 2) I.Perez, A.Madariaga, M.Cuesta, A.Garay, P.J.Arrazola, P.J.Arrazola, J.J.Ruiz, F.J.Rubio, R.Sanchez, Effect of cutting speed on the surface integrity of face milled 7050-T7451 aluminium workpieces, Procedia CIRP Volume 71, (2018)
- 3) Петрушин С.И., Губайдулина Р.Х., Баканова А.А., Махова А.В., ВЕСТНИК МАШИНОСТРОЕНИЯ, изд-во: "Инновационное машиностроение" (Москва)
- 4) В. Е. Зайцев, Е. А. Скрипка, О. В. Гнатенко, Исследование влияния основных параметров резания на величину шероховатости поверхности Ra при торцевом фрезеровании алюминиевого сплава 6082 Т6, Авиационно-космическая техника и технология : науч.-техн. журн. / Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского “Харьковский авиационный институт”. – Харьков: [б. и.], (1993)
- 5) Богодухов С.И., Килов А.С., Козик Е.С., Шеин Е.А., Шейнин Б.М., Хайбуллин Р.Р., ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СПЛАВА Т5К10, Вестник Оренбургского государственного университета (2010)
- 6) Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / А. Г.Косиловой, Р. К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 656 с.
- 7) Нильсен Х. Алюминиевые сплавы (свойства, обработка, применение) / Х. Нильсен, В. Хуфнагель, Г. Ганулис ; пер. с нем. под ред. М. Е. Дрица, Л.Х. Райтбарга - 13-е изд., переработ. и доп. – Москва Металлургия, 1979.– 678 с.
- 8) Ежова А.К. Обработка резанием алюминия и его сплавов, ФГАОУ ВО РГППУ, г. Екатеринбург.

- 9) Алюминиевый информационный портал [Электронный ресурс]. – URL:<http://aluminium-guide.ru> – Понимание алюминия – Научно. Технично. Популярно. (Дата обращения 21.12.18)
- 10) Ковалевский А.В. Выбор рациональных режимов для фрезерования для обработки алюминиевых сплавов/ А. В. Ковалевский // Омский научный вестник – 2008. - №4 – С 64-66.
- 11) Пластины сменные многогранные твердосплавные. Классификация. Системы обозначений. Формы. ГОСТ 19042-80 (ИСО 1832-85), ГОССТАНДАРТ РОССИИ, Москва – 1992, ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР.
- 12) В.Ф Скворцов, Основы технологии машиностроения, изд-во ТПУ – г. Томск, (2012)
- 13) Ким А.Б., Арляпов А.Ю., Сбоев В.Н., Исследование стойкостных и экономических характеристик токарной обработки. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».- Томск: Изд. ТПУ, 2010.-12 с.
- 14) Фрезы торцовые насадные со сменными многогранными пластинами с углом в плане 90 градусов, технические условия ТУ 25.73.40-016-36293294-2018, (2018)
- 15) Справочник инструментальщика/ Ординарцев И.А., Филипов Г.В., Шевченко А.Н., Онишко А.В., Сергеев А.К.; Под общ. ред. Ординарцева И. А. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, (1987)
- 16) Ким А.Б., Арляпов А.Ю., Сбоев В.Н., Исследование силовых процессов резания. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».- Томск: Изд. ТПУ, 2014.-12 с.

- 17) ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 18) ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 19) СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 20) СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 21) ГОСТ 12.4.154-85 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры.
- 22) СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Санитарные правила и нормы.
- 23) СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
- 24) СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1).
- 25) ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (утратило силу с 04.05.2018 на основании постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 13.02.2018 N 25).
- 26) ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 27) ТОИ Р-15-050-97 Типовая инструкция по охране труда для станочников металлообрабатывающих станков (токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные, заточные станки).
- 28) ГОСТ 7599-82. Станки металлообрабатывающие. Общие технические условия.

- 29) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)
- 30) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН О САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОМ БЛАГОПОЛУЧИИ НАСЕЛЕНИЯ.
- 31) Постановление Правительства РФ от 24 июля 2000 г. N 554 "Об утверждении Положения о государственной санитарно-эпидемиологической службе Российской Федерации и Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании" (с изменениями и дополнениями).